



Joana Filipa Tavares Reis

Licenciada em Ciências da Engenharia Biomédica

Integração da metodologia *Fuzzy* num modelo para a aquisição de equipamentos médicos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Biomédica

Orientadora: Doutora Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes, Professora Associada, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Júri

Presidente: Doutor José Luís Constantino Ferreira, Professor Auxiliar, FCT - UNL

Arguente: Doutor Nelson Fernando Chibeles P. Martins, Professor Auxiliar, FCT - UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2019

Integração da metodologia *Fuzzy* num modelo para a aquisição de equipamentos médicos

Copyright © Joana Filipa Tavares Reis, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

À Professora e orientadora Maria Isabel Gomes, por ter sido fundamental e a principal responsável pelo desenvolvimento desta dissertação. Muito obrigada pelo apoio, pela motivação e pela força transmitida no decorrer da dissertação.

À Carolina Ferreira, pelo incentivo, motivação e apoio prestados ao longo desta jornada.

Aos meus pais. São sempre a minha primeira fonte de inspiração em todos os desafios a que me proponho.

À minha família. Obrigada por estarem presentes, mesmo que a uns quilómetros de distância.

Ao André. Obrigada por tudo.

A todos os meus amigos.

À Débora. Foste fundamental. Obrigada pelos preciosos ensinamentos de LaTeX. Por toda a tua amizade. Por toda a tua ajuda. E por estares presente, mesmo que à distância. Obrigada.

À Tabby e Anayza. Não tenho como agradecer. Vocês são incríveis. Obrigada!

À Rita, à Carolina, à Ana, ao Pedro Dinis, à Inês e ao Pedro Silva. Obrigada, companheiros. Foi bom partilhar convosco trabalhos, aulas práticas, horas de estudo e estes anos de partilha de conhecimento e aprendizagens diárias.

A todas as pessoas, que de uma forma ou de outra, contribuíram para a conclusão desta etapa. Muito Obrigada!

*"One day in retrospect, the years of struggle
will strike you as the most beautiful"*
- Sigmund Freud

RESUMO

Atualmente, os progressos tecnológicos nas instituições de saúde, tornam-se imprescindíveis na prestação de cuidados de saúde. A evolução das tecnologias de saúde, nomeadamente dos equipamentos médicos propiciam melhorias nos diagnósticos e nas terapêuticas contribuindo para uma melhor qualidade de vida das pessoas e para o aumento da sua esperança média de vida. Os equipamentos médicos constituem um peso significativo nas unidades hospitalares, quer pelo impacto que causam nas despesas totais de saúde, quer pela sua sofisticação tecnológica. Estes dois fatores colocam um enorme desafio aos hospitais portugueses, tendo em conta os escassos recursos disponíveis.

Assim, é fundamental garantir que a aquisição de um equipamento médico é realizada de forma consciente e racional, quando consideradas as necessidades dos principais atores, em particular médicos, profissionais de saúde e administradores hospitalares.

Em Portugal, a inexistência de uma política de aquisição de equipamentos metódica, baseada num conjunto de critérios predefinidos é a principal motivação deste trabalho. A presente dissertação propõe uma metodologia de apoio à decisão para a aquisição de equipamentos médicos, produzindo uma lista priorizada das melhores alternativas, seleccionadas por um conjunto de decisores.

A metodologia proposta pretende ser simples e transparente, incluindo os principais agentes de decisão em todo o processo. A determinação e ponderação dos critérios a considerar na priorização das alternativas é levada a cabo através da técnica *Swing Weights*. A ordenação das alternativas é assegurada por meio de duas abordagens distintas: *fuzzy* e *non-fuzzy*. Concretamente, a abordagem *fuzzy* utiliza variáveis qualitativas e a *non-fuzzy* quantitativas, sendo a abordagem *fuzzy* a que revelou ter resultados mais promissores. Por fim, é feita uma análise de custo-benefício, que incorpora as ordenações obtidas para as alternativas e o orçamento disponível.

Palavras-chave: Equipamentos médicos, Metodologia de apoio à decisão multicritério, *Swing Weights*, *Fuzzy*, VIKOR

ABSTRACT

Nowadays, technological advances in health institutions are becoming indispensable in health care delivery. Developments in health technologies, particularly in medical equipments, lead to improvements in diagnostics and therapeutics, which contributes to a better quality of life and increasing the average life expectancy.

Medical equipment is a significant burden on hospital facilities, both for its impact on the total health care costs and for its technological sophistication. These two factors pose a huge challenge for Portuguese hospitals, given the scarce resources available.

Thus, it's essential to ensure that the purchase of medical equipment is carried out consciously and rationally, when considering the needs of the most relevant actors, as doctors, health technicians and hospital administrators.

In Portugal, the lack of a methodical equipment procurement policy based on a set of predefined criteria is the main motivation of this work. This dissertation proposes a decision aiding methodology for the acquisition of medical equipment, producing a prioritized list of the best alternatives, selected by a set of decision makers.

The proposed methodology is intended to be simple and transparent, including key decision-makers throughout the process. The determination and weighting of the criteria to consider when prioritizing the alternatives, is carried out using the *Swing Weights* technique. The ordering of alternatives is ensured through two distinct approaches: *fuzzy* and *non-fuzzy*. Concretely, the *fuzzy* approach uses qualitative and the *non-fuzzy* quantitative variables, and the *fuzzy* approach has shown the most promising results. Finally, a cost-benefit analysis is performed, which incorporates the orderings obtained for the alternatives and the available budgets.

Keywords: Medical equipment, Multicriteria decision support methodology, *Fuzzy*, *Swing Weights*, VIKOR

ÍNDICE

Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xix
Siglas	xxi
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Estrutura da dissertação	3
2 Revisão Bibliográfica	5
2.1 Contextualização	5
2.2 A Necessidade do Planeamento de Tecnologias Médicas, no caso de equipamentos médicos hospitalares	5
2.3 Possíveis soluções para abordar o problema	8
2.4 Modelos de Apoio à Decisão Multicritério	9
2.4.1 Métodos Compensatórios	12
2.4.2 Métodos Não-Compensatórios	13
2.4.3 O Método de Ponderação <i>Swing Weights</i>	15
2.4.4 O Modelo de Apoio à Decisão Multicritério - VIKOR	17
2.5 A Lógica <i>Fuzzy</i>	20
2.5.1 Conjuntos <i>Fuzzy</i>	21
2.5.2 A Teoria de Conjuntos <i>Fuzzy</i> em Tomada de decisão multicritério (MCDM)	25
2.5.3 Fuzzy-VIKOR - Modelo Integrador da Lógica <i>Fuzzy</i> com a Metodologia de Apoio à Decisão Multicritério VIKOR	25
2.6 Análise de Custo-Benefício	29
3 Metodologia de apoio à decisão proposta	33
3.1 Contextualização	33
3.2 Estruturação do modelo	34
3.3 Identificação e definição dos critérios	35
3.4 Ponderação dos critérios e dos atores de decisão	37

3.5	Avaliação das alternativas	38
3.6	Ordenação das alternativas	39
3.7	Análise de Custo-Benefício	40
4	Resultados e discussão da Metodologia Proposta	43
4.1	Aplicação da abordagem <i>Fuzzy</i>	48
4.2	Aplicação da abordagem <i>non-Fuzzy</i>	52
4.3	Discussão e comparação dos resultados das abordagens <i>Fuzzy</i> e <i>non-Fuzzy</i>	55
4.3.1	<i>Fuzzy</i> ou <i>non-fuzzy</i> ?	56
4.3.2	Análise de Custo-Benefício	58
5	Conclusões e Trabalho Futuro	61
	Bibliografia	65
I	Matrizes de decisão individuais dos atores RGSTI, RGIE, AH, DC e EC, pela abordagem com variáveis qualitativas	71
II	Matrizes de decisão individuais dos atores RGSTI, RGIE, AH, DC e EC pela abordagem com variáveis quantitativas	73

LISTA DE FIGURAS

2.1	Plano de gestão da tecnologia médica no Hospital Pediátrico do Texas.	7
2.2	Esquematização dos dois grandes grupos de MADM: Compensatórios e não-Compensatórios.	12
2.3	A primeira etapa do método <i>Swing Weights</i> . Os pontos de vista (PVF) no nível "pior" da classificação.	15
2.4	A primeira etapa do método <i>Swing Weights</i> - Exemplo Ilustrativo.	16
2.5	O método <i>Swing Weights</i> - Fase final da primeira etapa do método.	16
2.6	O processo de quantificação do método <i>Swing Weights</i>	17
2.7	Solução ideal e solução de compromisso.	18
2.8	Fluxograma da metodologia VIKOR.	19
2.9	Ilustração de um número <i>fuzzy</i> ñ.	22
2.10	Ilustração de três funções de pertença.	23
2.11	Ilustração de um número <i>fuzzy</i> trapezoidal ñ.	23
2.12	Fluxograma da metodologia <i>Fuzzy</i> -VIKOR.	26
2.13	Ilustração de uma abordagem de otimização.	31
2.14	Ilustração de uma abordagem de priorização	31
3.1	Metodologia proposta para o apoio à decisão da aquisição de equipamentos médicos.	33
3.2	Árvore de Valor considerada neste estudo.	36
4.1	Determinação dos pesos dos atores em relação ao critério Avaliação Tecnológica, pelo agente de decisão.	46
4.2	Determinação dos pesos dos critérios, pelo agente de decisão.	46
4.3	Variáveis linguísticas para a avaliação das alternativas.	48
4.4	Comparação entre as ordenações de alternativas obtidas para os métodos <i>Fuzzy</i> -VIKOR e VIKOR.	55

LISTA DE TABELAS

3.1	Tabela representativa dos critérios e as respectivas definições	35
3.2	Matriz de decisão $m \times n$ do ator _k	38
3.3	"Super"matriz de decisão.	40
4.1	Alternativas consideradas no problema de decisão da aquisição de Equipamentos Médicos.	44
4.2	Coefficientes de ponderação e respectivas normalizações dos atores em relação a cada critério.	47
4.3	Coefficientes de ponderação e respectivas normalizações dos critérios.	47
4.4	Variáveis linguísticas consideradas para a avaliação das alternativas.	48
4.5	Matriz de avaliação do atorResponsável do Serviço (RS).	48
4.6	Matriz de decisão agregadora das matrizes de cada ator para os critérios AT, RI, NSE, RNC e FE.	49
4.7	Matriz de decisão agregadora das matrizes de cada ator para os critérios GU, NFU, C e GR.	49
4.8	Desfuzificação da matriz de decisão com base no método Centro de Gravidade (COG).	50
4.9	Desfuzificação da matriz de decisão com base no método Média dos Máximos (MOM).	50
4.10	Alternativa ideal (Fuzzy-VIKOR).	50
4.11	Alternativa anti-ideal (Fuzzy-VIKOR).	50
4.12	Valores de máxima utilidade (S), mínimo desacordo (R) e proximidade relativa (Q) para cada uma das alternativas no método Fuzzy VIKOR.	51
4.13	Ordenação com soluções de compromisso.	52
4.14	Matriz de avaliação do atorRS.	53
4.15	Matriz de decisão agregadora das matrizes individuais dos atores.	53
4.16	Alternativa ideal (VIKOR).	53
4.17	Alternativa anti-ideal (VIKOR).	53
4.18	Valores de máxima utilidade (S), mínimo desacordo (R) e proximidade relativa (Q) para cada uma das alternativas (VIKOR).	54
4.19	Ordenação com soluções de compromisso (VIKOR).	54
4.20	Escalas utilizadas no estudo e escalas utilizadas para discussão de resultados.	56

4.21	Resultados obtidos para os coeficientes S, R e Q aquando da aplicação das escalas VIKOR (Limiar inferior do intervalo), VIKOR (Limiar superior do intervalo) e VIKOR (Nova Escala).	57
I.1	Matriz de avaliação do ator RGSTI.	71
I.2	Matriz de avaliação do ator RGIE.	71
I.3	Matriz de avaliação do ator AH.	72
I.4	Matriz de avaliação do ator DC.	72
I.5	Matriz de avaliação do ator EC.	72
II.1	Matriz de avaliação do ator RGSTI.	73
II.2	Matriz de avaliação do ator RGIE.	73
II.3	Matriz de avaliação do ator AH.	74
II.4	Matriz de avaliação do ator DC.	74
II.5	Matriz de avaliação do ator EC.	74

SIGLAS

AH Administrador Hospitalar.

AHP Analytic Hierarchy Process.

AT Avaliação Tecnológica.

C Criticidade.

CA Conselho de Administração.

COG Centro de Gravidade.

DC Diretor de Compras.

EC Engenheiro Clínico.

ELECTRE Elimination Et Choix Traduisant la Realité.

FE Fiabilidade do Equipamento.

GR Geração de Receita.

GU Grau de Utilização.

MADM Modelos de Apoio à Decisão Multicritério.

MAUT Multi-attribute utility theory.

MAVT Multi-attribute value theory.

MCDA Análise de decisão multicritério.

MCDM Tomada de decisão multicritério.

MOM Média dos Máximos.

MOP Programação linear multi-objetivo.

NFU Necessidade de Formação de Utilizadores.

NSE Necessidade de substituição de equipamento já existente.

PROMETHEE Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations.

PTFN número *fuzzy* trapezoidal positivo.

RGIE Responsável pela Gestão de Instalações e Equipamentos.

RGSTI Responsável pela Gestão de Sistemas e Tecnologias de Informação.

RI Requisitos de Instalação.

RNC Risco de não-compra.

RS Responsável do Serviço.

SAW Simple Additive Weighting.

SMART Simple Multi-attribute Rating Technique.

TAC Tomografia Axial Computorizada.

TOPSIS Technique of Order Preference by Similarity of Ideal Solution.

VIKOR Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a necessidade da tecnologia nas unidades de saúde torna-se inquestionável, nomeadamente para a prestação de cuidados de saúde. São inúmeros os fatores que levam à procura de novas tecnologias pelas unidades de saúde, sendo os mais importantes: a prevenção, o diagnóstico, o tratamento e a reabilitação. Todos estes fatores contribuem para o aumento da qualidade de vida e consequente aumento da esperança média de vida das populações [1].

A evolução tecnológica e a entrada de novas tecnologias no mercado potencia a diferenciação tecnológica e permite incorporar mais exames e tratamentos, com o objetivo de melhorar a resposta assistencial em meios complementares de diagnóstico e terapêutica [2]. Para além disso, as novas tecnologias tornam o sector da saúde mais competitivo, uma vez que as organizações procuram não só a diferenciação, mas também uma maior especialização e inovação para ganharem destaque no mercado da saúde [2].

Os equipamentos médicos constituem um peso significativo nas unidades hospitalares, principalmente devido ao forte impacto que causam nas despesas de saúde, tornando-se um enorme desafio para os hospitais portugueses, tendo em conta os escassos recursos disponíveis [2]. No entanto, a aquisição de novos equipamentos vai permitir, não só, rentabilizar a capacidade instalada nas unidades hospitalares, como também aumentar a fiabilidade e segurança dos procedimentos médicos. Deste modo, as instituições de saúde necessitam de criar e implementar metodologias que permitam a avaliação e gestão das tecnologias para que a gestão dos seus recursos seja feita da forma mais correta. Para tal, devem identificar as suas prioridades e maximizar o seu retorno [3].

Nesta dissertação estuda-se a tomada de decisão na aquisição de equipamentos médicos e torna-se como caso de estudo os equipamentos da área de Radiodiagnóstico, nomeadamente da área de Imagiologia Médica. Estes equipamentos são, entre outros, equipamentos de Ressonância Magnética, de Tomografia computadorizada, de raios-X, de

mamografia e de ecografia. Segundo a Organização Mundial de Saúde, os equipamentos de imagem médica são considerados dos mais dispendiosos do universo dos equipamentos médicos [4],[5].

No que toca ao Sistema Nacional de Saúde (SNS), em Portugal, os equipamentos de radiodiagnóstico são considerados cuidados hospitalares, ou seja, qualquer paciente que utilize os serviços de Imagiologia provém de qualquer tipologia médica e/ou de qualquer rede de cuidados de saúde pública, como por exemplo, Centros de Saúde ou Hospitais. Por este motivo, torna-se fundamental gerir eficazmente todos os recursos associados ao SNS, tendo em conta o esforço acrescido dos Hospitais no que diz respeito à utilização do serviço de radiologia, a necessidade de controlar o acréscimo dos custos e dos tempos de espera, bem como a necessidade de assegurar qualidade e eficácia nos procedimentos médicos [6].

Face aos argumentos apresentados, a principal motivação deste trabalho de dissertação é o desenvolvimento de uma metodologia de apoio à decisão para a aquisição de equipamentos médicos. A metodologia concebida pretende ser transparente e criteriosa, tendo como principal objetivo auxiliar a determinar um plano de investimento, possibilitando a otimização dos recursos financeiros disponibilizados por uma qualquer Unidade Hospitalar. Para além disso, esta ferramenta pretende garantir qualidade nas decisões tomadas, no processo da aquisição de equipamentos médicos.

A criação da metodologia de apoio pretende envolver uma componente de pesquisa bibliográfica que servirá de apoio na definição, determinação de critérios e modelo multicritério a aplicar na avaliação e ordenação dos equipamentos propostos. Os critérios pretendem contemplar os aspetos de maior relevância no que toca a aquisição de equipamentos para cada uma das partes interessadas. Na metodologia proposta, as duas partes interessadas a considerar serão: os profissionais de saúde e a administração. Ambos deverão ver as suas necessidades e preferências igualmente satisfeitas.

A avaliação dos equipamentos propostos para a especialidade de imagem médica, será feita, tendo por base os critérios definidos, através de um grupo de individualidades de diferentes áreas de especialização numa Unidade Hospitalar. Cada elemento deste grupo terá diferentes pesos na avaliação, a determinar pelo Conselho de Administração. Assim, este procedimento permitirá ao Conselho de Administração ter total confiança na ordenação final obtida para os equipamentos propostos.

Com base na pesquisa bibliográfica foi também possível selecionar o tipo de metodologia multicritério a ser utilizada para priorizar o conjunto de alternativas proposto.

A metodologia *fuzzy* fornece uma abordagem humanista e simples na resolução de problemas, baseando-se em julgamentos qualitativos através de linguagem natural, e é bastante utilizada na resolução de problemas de decisão, nas mais diversas áreas sociais e económicas [7][8]. Esta abordagem será incorporada na metodologia de apoio proposta, destinando-se a apreender e manipular a avaliação humana da ambiguidade, incerteza e subjetividade [9][10].

A integração deste tipo de metodologia tem como vantagem transformar o processo

de tomada de decisão num conjunto de etapas que pretendem ser simples na sua análise e aplicação, reduzindo decisões intuitivas e incertezas associadas ao problema de decisão. Esta metodologia pretende também apresentar-se como alternativa, face a outras abordagens anteriormente desenvolvidas, tendo como principal pressuposto eliminar os erros metodológicos que ocorrem na formulação dessas mesmas abordagens e facilitar o processo de decisão na problemática da aquisição de equipamentos médicos.

1.1 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é a construção de uma metodologia multicritério que permite apoiar a decisão de aquisição de equipamentos médicos hospitalares. No caso do presente estudo, a aplicabilidade da metodologia será demonstrada em equipamentos médicos de Radiologia.

Assim, descrevem-se os passos a seguir para a construção da metodologia assente neste trabalho de dissertação:

1. Determinação de um conjunto de critérios a serem utilizados para a avaliação dos equipamentos médicos.
2. Ponderação dos critérios com recurso à técnica de *Swing Weights*.
3. Determinação do processo de decisão, tendo por base um modelo de apoio à decisão multicritério - VIKOR que permite gerar uma lista ordenada de alternativas.
4. Integração da metodologia *Fuzzy* ao modelo multicritério selecionado para a ordenação de alternativas.
5. Estruturação e aplicação da análise de custo-benefício.

1.2 Estrutura da dissertação

A dissertação segue a seguinte estrutura. No capítulo 1, apresenta-se a presente introdução e é feita uma breve contextualização do problema, onde são descritos os principais objetivos e a estruturação do trabalho. No capítulo 2, com recurso à literatura disponível, é feito um levantamento de indicadores que apelam à necessidade do desenvolvimento de metodologias de apoio à decisão, com relação à problemática da aquisição de equipamentos médicos; é feita uma recolha de informação no que toca a modelos de apoio à decisão; e por fim, são descritas as metodologias implementadas neste trabalho. No capítulo 3, é proposta a metodologia de apoio à decisão a implementar. No capítulo 4, a metodologia proposta é aplicada a um caso de estudo hipotético, sendo feita uma análise e discussão dos resultados obtidos. Por último, no capítulo 5 apresentam-se as conclusões finais e uma proposta para desenvolvimento futuro.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contextualização

Este capítulo, com base na bibliografia recolhida, começa por fazer referência à importância do planeamento de gestão de tecnologias médicas e identifica os objetivos que as instituições hospitalares requerem especificamente com a implementação de ferramentas de apoio à gestão de equipamentos médicos hospitalares. Posteriormente, são descritos os modelos que serviram de apoio na construção da metodologia. Por fim, serão expostos os vários modelos multicritério existentes na literatura e explicados ao detalhe aqueles que serão implementados neste trabalho.

2.2 A Necessidade do Planeamento de Tecnologias Médicas, no caso de equipamentos médicos hospitalares

A World Health Organization [4] considera a tecnologia médica como o conjunto de procedimentos, medicamentos e dispositivos médicos imprescindíveis nas instituições de saúde, aos quais os profissionais de saúde recorrem para a prestação de cuidados de saúde à população.

Jahnke *et al*, referem que nos últimos 100 anos os serviços de saúde estão cada vez mais dependentes do uso de tecnologia médica, mais concretamente, dos equipamentos médicos hospitalares. Estes possibilitam a utilização de ferramentas que permitem a execução de uma determinada tarefa médica, contribuindo para a melhoria de diagnóstico, da qualidade do serviço prestado e da terapêutica de diversas patologias [1]. Para além disso, permitem melhorar a eficiência médica, agilizar o trabalho dos profissionais de saúde, a redução dos erros humanos, contribuindo assim para uma melhor desempenho do corpo clínico [11].

A evolução tecnológica que se tem assistido nos últimos anos nos equipamentos médicos resulta, não só, da necessidade de incorporar tecnologias cada vez mais seguras, mas também das exigências de *performance*, de sistemas de redução de falhas e de redução de custos com a manutenção [12] [11].

O Infarmed realça a importância da implementação de um sistema que monitorize a utilização de um determinado dispositivo médico, tendo em conta o seu desempenho [13]:

"(...) o nível de conhecimento do comportamento real de um dispositivo médico no mercado é afetado por (...) fatores externos ligados à sua utilização como seja o nível de formação e competência dos seus utilizadores, as condições de transporte e manutenção dos mesmos, o que reforça a necessidade de dispor de um sistema que permita monitorizar o benefício real para os doentes resultante da utilização de determinado dispositivo médico (...)."

Considerando-se os equipamentos médicos, imprescindíveis nas unidades de saúde, são recomendados níveis elevados de operacionalidade, disponibilidade, fiabilidade e rentabilidade, tornando-se evidente que as instituições de saúde necessitam de programas de gestão, quer de aquisição de novos equipamentos, quer da manutenção dos já existentes [3], face aos limitados recursos financeiros existentes. Em Portugal, a redução de custos alocados ao sector da saúde deveu-se, sobretudo à crise económica vivida nos últimos anos, obrigando a uma reestruturação dos serviços e, conseqüentemente, a uma necessidade de otimização de recursos [6].

A aplicação de processos sistemáticos de avaliação de tecnologias de saúde, nomeadamente, no apoio à escolha de dispositivos médicos é uma área crescente em todo o mundo. Portugal é dos poucos países da União Europeia que não utiliza esse tipo de processos [13]. Os processos de avaliação que conduzem à aquisição de equipamentos médicos são baseados, principalmente, na evidência clínica, na medida em que se adquire e mantém os equipamentos hospitalares de acordo com previsões futuras de exigência do mercado e do número de pacientes que são esperados nos serviços [1].

Jahnke *et al*, mencionam que os hospitais necessitam de desenvolver programas de gestão da tecnologia médica que englobam os seus objetivos e prioridades e uma metodologia de planeamento eficaz para a aquisição de novos equipamentos, bem como um sistema de gestão do inventário dos equipamentos já existentes [3].

Neste contexto e a título de exemplo, refira-se um plano de gestão de tecnologias médicas desenvolvido no Hospital Pediátrico do Texas, nos Estados Unidos da América, para equipamentos hospitalares.

A figura 2.1 representa as etapas estabelecidas no plano de gestão concebido para o Hospital Pediátrico do Texas. Este plano contempla um conjunto de etapas fundamentais para que os profissionais de saúde possam desenvolver planos estratégicos que permitam [1]:

- conduzir a uma estratégia de alocação de recursos;

2.2. A NECESSIDADE DO PLANEAMENTO DE TECNOLOGIAS MÉDICAS, NO CASO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS HOSPITALARES

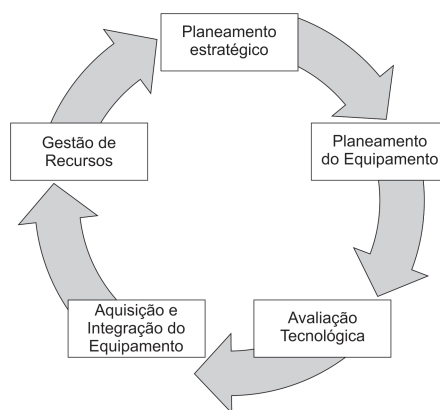


Figura 2.1: Plano de gestão da tecnologia médica no Hospital Pediátrico do Texas. (Adaptado de [1]).

- maximizar o valor fornecido pelos recursos investidos nos equipamentos médicos;
- avaliar oportunidades e possíveis ameaças tecnológicas;
- aumentar o acesso aos cuidados de saúde;
- reduzir despesas de operação e a exposição ao risco.

Para além disso, o Hospital Pediátrico do Texas incorporou informação adicional em relação à utilização e operacionalidade do equipamento que pretendia adquirir e geriu o inventário dos equipamentos existentes. Este plano foi devidamente implementado com sucesso [1].

Ferreira [6] e Figueiredo [12] realçam a importância da experiência e envolvimento de profissionais que assegurem a especificação dos critérios de avaliação, gestão e seleção dos equipamentos, num processo de aquisição de equipamentos. Os autores referem ainda que todo o processo deve ter em conta as necessidades dos utilizadores, quer sejam pacientes ou profissionais.

Jahnke *et al*, referem também que para que uma metodologia seja implementada com sucesso, os utilizadores devem ter um conhecimento das tecnologias existentes e das necessidades clínicas da unidade hospitalar [3].

Com base nos argumentos apresentados e no papel preponderante que um modelo de gestão tem sobre uma instituição de saúde, neste trabalho de dissertação foi desenvolvida uma metodologia que permite apoiar a decisão na aquisição de equipamentos médicos, face aos poucos recursos financeiros das unidades hospitalares. Este modelo irá permitir gerar uma lista ordenada de um conjunto de potenciais equipamentos para aquisição, tendo em conta um conjunto de critérios genéricos e abrangentes para a consideração de vários tipos de equipamentos diferentes entre si.

A recolha de pesquisa bibliográfica que visa servir de apoio à construção desta metodologia será explicada ao detalhe na subsecção 2.3.

2.3 Possíveis soluções para abordar o problema

Este trabalho teve por base um conjunto de referências bibliográficas, identificadas na literatura que serviram de apoio e inspiração para a construção da metodologia proposta neste trabalho.

A primeira e principal referência para este trabalho foi a de Ferreira [6], que propõe uma metodologia multicritério para apoio à decisão de compra de equipamentos médicos. Esta metodologia utiliza o modelo *Quality Function Deployment* (QFD) para definição e seleção de critérios, tendo por base as necessidades dos utilizadores, sejam estes pacientes ou profissionais. A autora utilizou o modelo *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para atribuir pesos aos critérios estabelecidos por meio de QFD. Posteriormente, aplicou duas metodologias para produzir a ordenação final do conjunto de alternativas considerado: *Technique of Order Preference by Similarity of Ideal Solution* (TOPSIS) e *Vlsekkriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR). VIKOR foi o método que obteve resultados mais robustos. No caso de estudo apresentado, foram considerados 6 atores de decisão, um super-agente de decisão e aplicados 5 critérios à problemática. As alternativas consideradas tiveram em conta 13 equipamentos médicos de Radiologia.

Saleh, utilizou uma metodologia integrada QFD-*Fuzzy Logic* para definir uma lista ordenada de equipamentos médicos de entre um conjunto de 11 alternativas. Este método apenas considerava um agente de decisão em todo o processo de tomada de decisão e todos os critérios selecionados tinham a mesma importância para a decisão final. Para além disso, o método apresentava dificuldade de computação, nomeadamente, na definição e construção de regras *fuzzy*, assim como na incapacidade de atribuir diferentes ponderações a cada um dos critérios utilizados na avaliação [14].

De facto, as abordagens metodológicas apresentadas têm pontos que são comuns a um problema multicritério: consideram vários critérios e quantificam a *performance* dos equipamentos nos critérios. No entanto, apresentam aspetos que podem ser melhorados.

No caso do estudo de Ferreira [6]:

- a atribuição direta de valores quantitativos por parte dos decisores, quando estão a avaliar os pesos dos critérios e dos decisores. A utilização do método AHP na ponderação dos critérios, leva a que os atores não expressam da melhor forma as suas preferências.
- a não inclusão de todos os critérios relevantes na determinação da aquisição de equipamentos médicos, como por exemplo, os critérios Requisitos de instalação, Risco de não compra ou Necessidade de formação de utilizadores.

O autor sugere, como desenvolvimento futuro do seu trabalho, a integração de números *Fuzzy* para a classificação das alternativas por parte dos atores, pois poderá promover um processo de decisão mais célere e fácil para a maioria dos agentes de decisão.

No caso de Saleh [14]:

- o facto de apenas considerar um agente de decisão em todo o processo.
- a não atribuição de diferentes pesos aos diferentes critérios considerados.
- a dificuldade na construção de regras *fuzzy* para a ordenação de alternativas.

Estas limitações serão resolvidas utilizando uma nova abordagem no problema, nomeadamente uma metodologia multicritério que utiliza uma técnica de ponderação *Swing Weights*, tendo como grande vantagem o facto de ter em conta as preferências de cada ator e a integração de números *fuzzy* para facilitar o processo de decisão por parte dos atores, no que toca a avaliação dos critérios nas alternativas.

No que diz respeito à integração de números *fuzzy*, serviram como apoio os estudos dos autores [7], [15], [16] e [17]. Todos estes autores aplicaram números *fuzzy* em todo o processo de decisão, isto é na ponderação dos critérios e na avaliação dos mesmos com base nas alternativas. No que toca à ponderação dos critérios, os autores utilizaram números *fuzzy* triangulares para avaliar a importância de cada critério e a agregação das diferentes classificações é baseada no algoritmo MOM. Independentemente do agente de decisão considerado nos estudos, todos eles têm o mesmo peso na ponderação dos critérios. Com excepção ao estudo de Sanayei *et al* [16] que utiliza números *fuzzy* trapezoidais, todos os restantes utilizaram números *fuzzy* triangulares.

No trabalho desta dissertação, a metodologia *fuzzy* apenas foi aplicada à avaliação dos critérios nas alternativas. Para além disso, nenhum destes estudos foi aplicado à problemática da aquisição de equipamentos médicos, no entanto, a metodologia *fuzzy* assente nesta dissertação foi concebida com base nas várias métricas aplicadas nos mesmos.

2.4 Modelos de Apoio à Decisão Multicritério

A tomada de decisão multicritério (MCDM) tem como principal foco a teoria e a metodologia que envolvem problemas complexos encontrados em negócios, nomeadamente em engenharia [18], no setor da saúde: na avaliação de tecnologias e medicamentos [6] [12] [19] no diagnóstico e terapêutica [20] e em vastas áreas da atividade humana [21]. Um problema complexo é caracterizado por critérios ou objetivos não comparáveis e conflitantes, como custo, desempenho, confiabilidade, segurança, produtividade e acessibilidade [21].

O MCDM inclui duas áreas complementares: a programação multi-objetivo Programação linear multi-objetivo (MOP) e a Análise de decisão multicritério (MCDA) que obriga a presença de "facilitadores" e "decisores". O papel do "facilitador" destina-se a esclarecer o processo de avaliação inerente à tomada de decisões e construir um modelo que considere os pontos de vista e os juízos de valor dos seus intervenientes. Por sua vez, os "decisores" são aqueles a quem foi formalmente delegado o poder de decisão, conferindo-lhes o direito de intervir na construção e na utilização do modelo como ferramenta de avaliação [22].

O MCDA considera múltiplos critérios, como por exemplo, pontos de vista e/ou objetivos em ambientes de tomada de decisão [21] e tem como principal objetivo a melhoria dos processos de decisão através de ferramentas matemáticas de análise, modelação e otimização [6] [20] para ajudar os decisores a selecionar o melhor compromisso entre as alternativas através de [21]:

1. organização dos diferentes elementos numa estrutura hierárquica;
2. modelação das relações entre os vários componentes do problema;
3. o incentivo à comunicação entre as partes interessadas.

Em suma, os métodos MCDA visam comparar ou classificar qualquer conjunto de alternativas com base em critérios selecionados, enquanto que as técnicas de MOP visam determinar o conjunto de alternativas ótimas, de acordo com os critérios considerados [21].

É importante salientar que, na presença de múltiplos critérios, não existe uma decisão ótima, isto é única para o problema, existem sim, muitas decisões consideradas como "adequadas" no processo de tomada de decisão [21] [22]. Deste modo, entende-se que a complexidade da tomada de decisão requer um tratamento qualificado e justifica a utilização de métodos de apoio à decisão [22].

Os Modelos de Apoio à Decisão Multicritério (MADM) constituem um conjunto de etapas que não seguem, regra geral, uma determinada ordem, sendo considerado um processo iterativo [23]. As etapas são descritas, seguidamente, com base em [23], [21] e [20]:

- **Etapa 1.** Definição e compreensão do problema e identificação do(s) objetivo(s) do processo de decisão e dos seus intervenientes (decisores);
- **Etapa 2.** Construção do modelo:
 - (a) Identificação de critérios: definição e descrição dos critérios que serão utilizados para avaliar as alternativas. Não existe um número ideal de critérios. O número de critérios depende do tipo de MCDA e da capacidade dos agentes de decisão em lidar com a informação.
 - (b) Identificação de alternativas.
 - (c) Seleção do método MCDA a aplicar no contexto do problema de tomada de decisão.
- **Etapa 3.** Pontuação
 - (a) Classificação das alternativas para cada critério.
 - (b) Verificação da consistência das pontuações (apenas em alguns métodos).

(c) Normalização da pontuação atribuída: transformação das pontuações em unidades proporcionais. Note-se que esta etapa pode não ser necessária em todos os MCDA.

- **Etapa 4.** Ponderação - esta etapa modela as preferências do agente de decisão.
 - (a) Atribuição de pesos a cada critério.
 - (b) Verificação da consistência dos pesos (apenas em alguns métodos).
- **Etapa 5.** Recomendação
 - (a) Ordenação das alternativas com base em pontuações e pesos.
- **Etapa 6.** Realização de uma análise de sensibilidade - esta análise é realizada através da variação dos pesos dos critérios e/ou das avaliações feitas para cada alternativa.

Nas últimas décadas, o número de MADM aumentou significativamente. Estes métodos fornecem inúmeras opções para modelar as preferências dos agentes de decisão com o intuito de obter um determinado resultado [21][20]. No entanto, é necessário identificar a metodologia mais apropriada para a situação do caso de estudo, uma vez que nem todos os métodos podem ser aplicados em certas problemáticas [6].

Os MADM podem ser divididos em dois grandes grupos: os modelos compensatórios e os modelos não-compensatórios. Nos modelos compensatórios, entende-se que uma má prestação e/ou desempenho de uma dada alternativa num determinado critério possa sempre ser "compensada", em termos de apreciação global, por uma boa prestação dessa alternativa num ou vários critérios. No grupo dos não-compensatórios, aceita-se que um mau desempenho de uma determinada alternativa num dado critério pode pôr em causa a sua avaliação global, podendo esta não ser "compensada" por bons desempenhos noutros critérios [24]. Tiesmeier [25] sugere que os métodos não-compensatórios possam ser utilizados como um método de "pré-análise" das alternativas, a fim de determinar aquelas que não atingem um determinado valor num ou em vários critérios. Para além disso, este autor defende ainda que o grupo de métodos compensatórios são mais rigorosos e precisos para decisões multicritério complexas.

Na figura 2.2, estão representados alguns MADM tendo em conta a sua natureza compensatória, tendo sido selecionados alguns dos modelos mais difundidos para cada um dos grupos. De seguida, é feita uma explicação sucinta sobre cada um dos modelos.

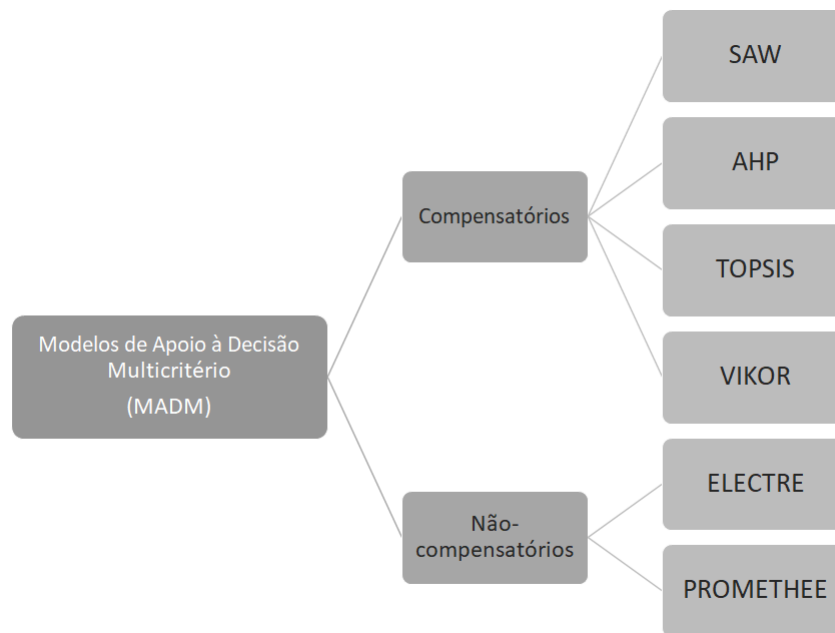


Figura 2.2: Esquematização dos dois grandes grupos de MADM: Compensatórios e não-Compensatórios (Adaptado de [21]).

2.4.1 Métodos Compensatórios

- Simple Additive Weighting (SAW)

Segundo Pires *et al* [21], a técnica Ponderação Aditiva Simples (SAW) é uma das técnicas de MCDA mais simples e mais utilizadas. É baseada na média ponderada, cujas pontuações atribuídas para cada critério são multiplicadas pelos respectivos pesos e por fim, somadas para gerar uma pontuação global do desempenho de uma dada alternativa. Deve-se salientar que, as pontuações atribuídas aos critérios têm que ser normalizadas. Exemplos destes métodos são: Simple Multi-attribute Rating Technique (SMART), Multi-attribute utility theory (MAUT) e Multi-attribute value theory (MAVT). No SMART, os pesos são atribuídos com base na técnica *Swing Weights*, explicada ao detalhe na subsecção seguinte. Goodwin [26] assume que uma das maiores vantagens desta técnica é o facto de permitir ao decisor ter um envolvimento direto no processo de tomada de decisão, na medida em que a técnica obriga a um diálogo constante entre analista e decisor.

Nos métodos MAVT e MAUT assume-se que existe uma função baseada em valor (utilidade) que representa as preferências do decisor. A função utilidade pode ser determinada de diversas formas dependendo quer das propriedades dos critérios analisados, quer das preferências dos decisores. Estas funções têm de ser avaliadas e posteriormente utilizadas para agregar e classificar as alternativas. Como desvantagem destes métodos, Hester *et al* [27] apontam para a necessidade de um número excessivo de *inputs* por parte dos decisores e as suas preferências têm de ser bastante precisas. Além do mais, o método conduz a um cálculo muito complexo envolvendo um elevado número de variáveis.

- AHP

AHP é um dos métodos mais populares de MCDA, proposto por Saaty (1980) [21][22]. O AHP decompõe o problema de decisão num sistema hierárquico de atributos e tem tantos níveis quanto os necessários para caracterizar um determinado processo de tomada de decisão. A avaliação dos critérios e subcritérios é feita através de comparações dois a dois entre critérios [20][21]. O método AHP é considerado um método simples, eficaz e de fácil compreensão, quando comparado com outros métodos [6][20]. Como desvantagem, Hester *et al* [27] e Pires *et al* [21] referem que no AHP, a introdução de uma nova alternativa pode (ou não) alterar a classificação das restantes alternativas (reversão de classificação). Pires *et al* [21] aponta ainda para a possibilidade do processo se tornar moroso, caso envolva um elevado número de critérios.

- TOPSIS

TOPSIS é um método proposto por Hwang and Yoon (1981) que se baseia na proximidade de uma dada alternativa à solução ideal e à solução anti ideal: a melhor alternativa é aquela que tem a menor distância em relação à solução ideal, e a maior distância em relação solução anti ideal [6] [22]. A alternativa ideal é uma alternativa hipotética que compreende os melhores resultados, isto é, mais desejáveis, para os critérios de avaliação, enquanto que a alternativa anti ideal representa outra alternativa hipotética que compreende os resultados menos desejáveis para os critérios de avaliação [21].

TOPSIS utiliza a distância euclidiana para calcular as distâncias entre as alternativas consideradas e as alternativas hipotéticas. É através do cálculo das distâncias euclidianas entre alternativas que se estabelece uma ordenação final das alternativas consideradas num problema de decisão [6]. Hester *et al* [27], apontam como vantagem o facto deste método ser de fácil utilização, com base num procedimento simples, no entanto referem que o método, por fazer uso da distância euclidiana, não considera a correlação entre os atributos.

- VIKOR

VIKOR, proposto por Opricovic, determina uma lista ordenada de alternativas, as soluções de compromisso e ainda os intervalos de estabilidade dos pesos que resultam na estabilidade da preferência da solução [28]. A ordenação final das alternativas é baseada numa medida particular da proximidade à solução ideal [8]. Na subsecção 2.4.4 do presente capítulo, este método será explicado em detalhe, uma vez que é um dos métodos aplicados neste trabalho.

2.4.2 Métodos Não-Compensatórios

- Elimination Et Choix Traduisant la Realité (ELECTRE)

Os modelos de apoio à decisão desta família ELECTRE são considerados modelos de *outranking*.

ELECTRE foi introduzido por Bernard Roy (1960). Este método permite avaliar se a alternativa a é tão “melhor” quanto a alternativa b , ou seja, se uma dada alternativa supera outra alternativa. As preferências são estruturadas em quatro relações binárias elementares: indiferença, preferência, preferência fraca e incomparabilidade [21]. Para criar as relações de *outranking* entre alternativas, são utilizados os índices de concordância e discordância que refletem as vantagens e desvantagens das alternativas [22]. ELECTRE consiste em 7 modelos diferentes: os ELECTRE II, III, IV, A, IS e TRI que derivam do modelo original ELECTRE I [6][21].

Neste método, a quantidade de parâmetros pode ser considerada uma dificuldade na aplicação do método, no entanto propiciam análises de sensibilidade que permitem um melhor estudo do conjunto de alternativas [22]. Pires *et al* [21] apontam como desvantagem o facto deste procedimento ser moroso, uma vez que, não tendo um *software* apropriado, envolve elevada complexidade computacional.

- Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE)

Tal como a família ELECTRE, os métodos PROMETHEE também utilizam a noção de relação de *outranking*, sendo, porém, considerados mais fáceis de aplicar comparativamente com ELECTRE. Na verdade, ambos os métodos são sujeitos a subjetividade, principalmente quanto à definição de parâmetros técnicos, apesar de os métodos PROMETHEE serem mais resistentes a variações nesses parâmetros, produzindo resultados mais robustos [22]. PROMETHEE foi proposto por Jean-Pierre Brans (1981). Os métodos PROMETHEE criam uma relação numérica de *outranking* com base num índice de preferência que representa o grau de preferência entre alternativas, através da diferença entre o desempenho das mesmas. Quanto mais próximo de 0 estiver o índice de preferência, maior a indiferença entre as alternativas, porém quanto mais próximo estiver de 1 maior a preferência de uma dada alternativa sobre outra [6]. PROMETHEE consiste em 6 modelos: PROMETHEE I, II, III, IV, V e VI. Pires *et al* refere que o método, quando envolvido em muitos critérios, torna-se difícil para o decisor obter uma visão do problema. Para além disso, as metodologias de *outranking* consomem muito tempo [21] e levantam problemas quando os critérios são quantitativos e requerem uma pontuação [6].

Finda a descrição de alguns dos MADM, as próximas subsecções descrevem ao detalhe os MADM utilizados neste trabalho. As escolhas dos MADM para a construção desta *framework* foram baseadas nos resultados obtidos na metodologia desenvolvida por [6].

2.4.3 O Método de Ponderação *Swing Weights*

Swing Weights é uma técnica de ponderação que surgiu a partir de um modelo multicritério compensatório - o modelo aditivo de agregação simples (SMART) - que é, seguramente, o modelo multicritério mais utilizado em processos de tomada de decisão. O seu sucesso deve-se principalmente à sua abordagem simples e transparente para a resolução de problemas de decisão inerentemente complexos, isto é, que envolvem múltiplos critérios de avaliação [24].

Goodwin [26] define a técnica de *Swing Weights* como sendo uma técnica que quantifica, através dos pesos, a importância de cada critério considerado num problema de decisão multicritério.

O método de *Swing Weights* consiste, essencialmente, em três etapas, sendo a primeira, a ordenação dos coeficientes de ponderação; a segunda, quantificação dos valores a atribuir aos coeficientes de ponderação dos pontos de vista, ou critérios; e terceira etapa, normalização dos coeficientes de ponderação [24].

Nesta secção, serão descritas todas as etapas que, adiante, serão aplicadas neste trabalho, tendo por base as referências bibliográficas [24] e [26].

Etapla 1. Ordenação dos coeficientes de ponderação

Nesta etapa o facilitador pede ao decisor que considere todos os pontos de vista fundamentais (PVF) do problema de decisão que se apresentem nos níveis "pior", como se pode observar na figura 2.3.

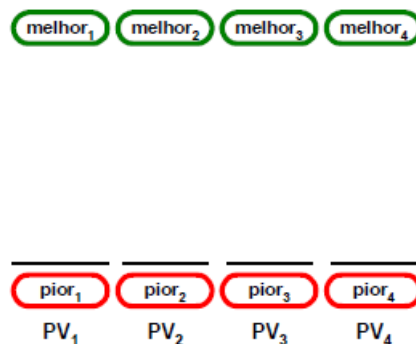


Figura 2.3: A primeira etapa do método *Swing Weights*. Os pontos de vista (PVF) considerados neste exemplo ilustrativo no nível "pior" de classificação. Os pontos de vista considerados estão representados por PV_1 , PV_2 , PV_3 e PV_4 [24].

Posteriormente, coloca-se a seguinte questão ao decisor: "Se fosse possível passar do nível "pior" para o "melhor" num único ponto de vista que seleccionaria para essa mudança?" Imaginemos, que o decisor escolhe passar o PV_2 . Observe-se a figura 2.4 que ilustra o caso.

Segue-se com a questão: "Excluindo o PV_2 que já foi selecionado, qual seria o PVF que escolheria de seguida para passar do pior nível para o melhor nível?". Face a essa questão, o decisor terá de escolher o segundo ponto de vista "preferido" e assim por diante. Os próximos procedimentos consistem em continuar a questionar sucessivamente o agente

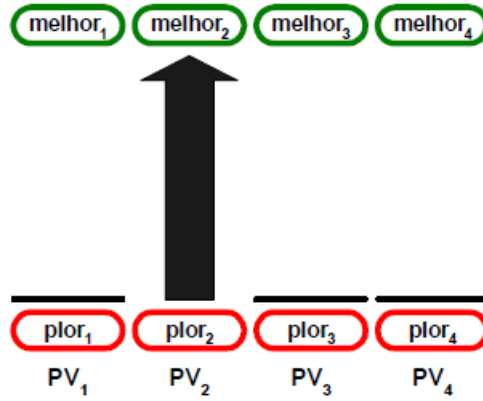


Figura 2.4: A primeira etapa do método *Swing Weights* - Exemplo Ilustrativo [24].

de decisão sobre qual o ponto de vista que selecionaria para passar do pior para o melhor níveis, excluindo os PVF escolhidos, por ele, anteriormente. Observe-se a seguinte figura ilustrativa.

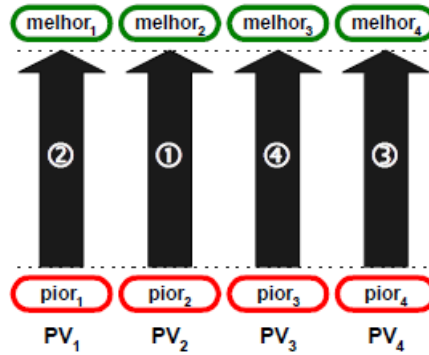


Figura 2.5: O método *Swing Weights* - Fase final da primeira etapa do método [24].

Com base na figura 2.3, conclui-se, portanto, que:

$$(melhor_2, pior_{j \neq 2}) > (melhor_1, pior_{j \neq 1}) > (melhor_4, pior_{j \neq 4}) > (melhor_3, pior_{j \neq 3}) > (pior_j, \forall j),$$

onde " $X > Y$ " significa que X é preferível a Y .

Se forem atribuídos 100 pontos aos níveis melhores e zero pontos aos níveis piores, representando k_j , o coeficiente de ponderação do ponto de vista j , virá:

$$(100 - 0)k_2 > (100 - 0)k_1 > (100 - 0)k_4 > (100 - 0)k_3 > 0, \text{ que equivale a } k_2 > k_1 > k_4 > k_3.$$

Etapa 2. Quantificação dos valores a atribuir aos coeficientes de ponderação dos PVF

Nesta etapa, comparam-se os *swings* (incrementos) do pior nível para o melhor nível em cada um dos PVF com o *swing* do pior nível para o melhor num PVF de referência ao qual é atribuído 100 pontos. Para esse efeito, Lourenço [24] sugere que se coloque ao agente de decisão a seguinte questão: "Em quanto é que quantificaria uma passagem do pior nível no ponto de vista PV_1 , sabendo que ao *swing* do pior nível para o melhor nível em PV_2 foram atribuídos 100 pontos?"

Posteriormente, repete-se o procedimento: o decisor compara a passagem do pior nível para o melhor nível dos restantes PVF, tendo por base o incremento de pior nível para o melhor nível de PV_2 , que neste exemplo foi considerado pelo decisor como sendo o PVF mais importante. Supõe-se que o agente de decisão atribuiu um *swing* de 80% a PV_1 , 60% a PV_4 e de 20% a PV_3 . Atente-se para a figura 2.6, que ilustra este processo.

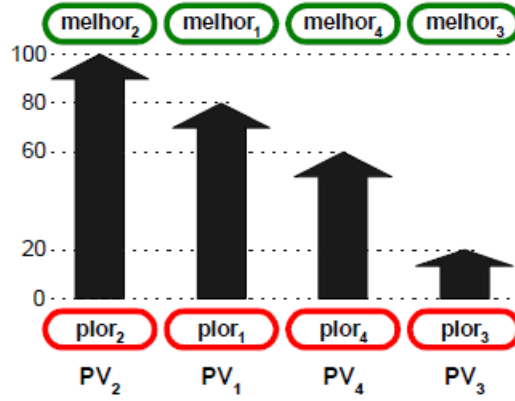


Figura 2.6: O processo de quantificação do método *Swing Weights* [24].

Etapla 3. Normalização dos coeficientes de ponderação

A última etapa consiste na normalização dos coeficientes de ponderação obtidos na etapa 2, para que a sua soma seja igual a 1. A formulação utilizada é a que se apresenta seguidamente.

$$k_j = \frac{k'_j}{\sum_{j=1}^n k'_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.1)$$

2.4.4 O Modelo de Apoio à Decisão Multicritério - VIKOR

VIKOR ou Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje é uma metodologia de otimização multicritério que classifica e ordena um conjunto de alternativas, bem como as soluções de compromisso e ainda os intervalos de estabilidade dos pesos que resultam na estabilidade da preferência da solução [28][7]. Esta técnica foi desenvolvida para tratar problemas de tomada de decisão de múltiplos critérios não-comensuráveis e conflitantes entre si [29]. A ordenação final das alternativas consideradas baseia-se numa medida particular de proximidade à solução ideal, L_p [8] [7] e na solução compromisso que significa um acordo estabelecido por concessões múltiplas [29]. A métrica L_p é definida pela seguinte formulação:

$$L_{p,i} = \left[\sum_{j=1}^n \left[\frac{w_j(f_j^* - x_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right]^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad 1 \leq p \leq \infty; i = 1, \dots, n \quad (2.2)$$

sendo que n corresponde ao número de alternativas; x_{ij} corresponde à avaliação atribuída à alternativa i , quando considerado o critério j ; f_j^* corresponde à melhor avaliação, de entre n alternativas, para cada critério j ; f_j^- corresponde à pior avaliação, de entre n alternativas, para cada critério j e w_j corresponde à importância relativa atribuída a cada

critério j . Esta métrica permite calcular a relação de dissimilaridade entre f_j^* e f_j^- , sendo que os valores de p correspondem a pontos de vista de valorização distintos da dissimilaridade entre a alternativa e a melhor avaliação possível. A metodologia VIKOR utiliza $L_{1,j}$ e $L_{\infty,j}$, definidas abaixo, para formular as medidas que permitem fazer a ordenação final de alternativas. No caso da medida $L_{1,j}$, que significa uma compensação completa entre critérios, é representada por S_i e diz respeito ao valor da alternativa i de máxima utilidade.

$$S_i = L_{1,i} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{w_j(f_j^* - x_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right] \quad (2.3)$$

No caso de $L_{\infty,j}$, representada pelo símbolo R_i , refere-se ao valor da alternativa i com o mínimo desacordo, ou seja, neste caso só interessa o valor máximo da diferença entre critérios.

$$R_i = L_{\infty,i} = \max \left[\frac{w_j(f_j^* - x_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right] \quad (2.4)$$

A solução de compromisso F^c é a solução viável mais próxima da solução ideal F^* , e este compromisso implica uma solução encontrada por meio de um acordo estabelecido por concessões mútuas, nomeadamente $\Delta f_1 = f_1^* - f_1^c$ e $\Delta f_2 = f_2^* - f_2^c$, como se representa na figura 2.7.

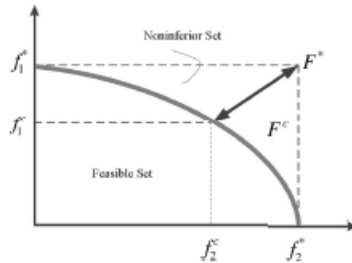


Figura 2.7: Solução ideal e solução de compromisso [29].

Os passos estabelecidos para a aplicação desta metodologia são apresentados seguidamente, através do fluxograma da figura 2.8.

Os passos da metodologia VIKOR, representados na figura 2.8 são descritos seguidamente, tendo por as referências bibliográficas [30], [31], [32] e [33].

Passo 1. Construção da matriz de decisão

A metodologia VIKOR pressupõe que cada decisor avalie todas as alternativas com base numa escala de números ordinais, segundo cada critério, para que seja possível construir a super matriz de decisão (matriz agregadora das avaliações de cada ator) e assim, determinar a solução ideal e anti ideal.

Passo 2. Determinação das soluções ideal e anti ideal

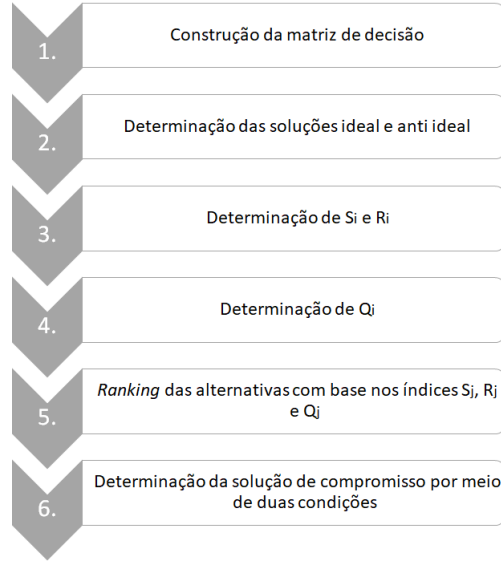


Figura 2.8: Fluxograma da metodologia VIKOR. Adaptado de [30].

Para a determinação das soluções ideal e anti ideal correspondentes à alternativa i , calculam-se os melhores valores f_j^* e os piores valores f_j^- , para cada critério $j=1,2, \dots, n$. Se o critério j representar um benefício:

$$f_j^* = \max x_{ij} \quad f_j^- = \min x_{ij}$$

Porém, se o critério j representar um custo:

$$f_j^* = \min x_{ij} \quad f_j^- = \max x_{ij}$$

Passo 3. Determinação de S_j e R_j

O valor S_i corresponde ao valor da alternativa i com a máxima utilidade de grupo e calcula-se com recurso à métrica L_p :

$$S_i = L_{1,i} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{w_j(f_j^* - x_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right] \quad (2.5)$$

O valor R_i refere-se ao valor da alternativa i com o mínimo desacordo, dado por:

$$R_i = L_{\infty,i} = \max \left[\frac{w_j(f_j^* - x_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right] \quad (2.6)$$

Passo 4. Determinação de Q_i

O índice Q_i é calculado para cada alternativa e determina-se da seguinte forma:

$$Q_i = v \left(\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1 - v) \left(\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right) \quad (2.7)$$

Sendo que $S^* = \min S_i$; $S^- = \max S_i$; $R^* = \min R_i$ e $R^- = \max R_i$. v corresponde a uma medida de estratégia e pode variar entre 0 e 1. A literatura recomenda a atribuição de 0.5

a v ($v = 0.5$), que diz respeito a uma estratégia de consenso.

Passo 5. Ordenação das alternativas com base nos índices S_j , R_j e Q_j

Nesta metodologia as alternativas são ordenadas através de três *rankings* gerados a partir dos cálculos efetuados nos dois passos anteriores. Os índices resultantes da ordenação dos valores S_i e R_i baseiam-se, respectivamente, no desempenho de uma dada alternativa e no pior desempenho da alternativa, tendo em conta qualquer critério. Por fim, o índice ordenado pelos valores de Q_i , é uma ponderação entre os dois primeiros índices.

Passo 6. Determinação da solução de compromisso por meio de duas condições

A proposta, como solução de compromisso, consiste no melhor posicionamento da alternativa a' em relação ao índice Q , isto é, a alternativa que tem o menor valor de Q_i se e só se, as seguintes condições forem satisfeitas:

Condição I – Vantagem aceitável

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ, \quad DQ = \frac{1}{m-1}$$

sendo que $Q(a'')$ corresponde ao valor de Q_i para a segunda melhor alternativa; $Q(a')$ corresponde ao valor de Q_i para a melhor alternativa e m representa o número de alternativas consideradas.

Condição II – Estabilidade aceitável na tomada de decisão

A alternativa a' deve ser também a melhor classificada na ordenação de alternativas por S_i e/ou R_i .

No caso de alguma das condições anteriores não ser satisfeita, então é proposto um conjunto de soluções de compromisso tendo por base os seguintes postulados:

1. Alternativas a' e a'' se apenas a condição II não for satisfeita, ou
2. Alternativas a', a'', \dots, a^k se a condição I não for satisfeita. a^k é determinada pela condição $Q(a^k) - Q(a') \leq DQ$, para o maior valor de k .

2.5 A Lógica Fuzzy

Expressar preferência, pensamento e julgamento através de linguagem natural tende a ser vago, subjetivo e incerto [10]. De acordo com *Bellman e Zadeh*, “No mundo real, grande parte da tomada de decisão ocorre num ambiente no qual os objetivos, as restrições e as consequências de determinadas ações não são conhecidas com precisão” [34]. Face à imprecisão do pensamento humano, o conceito *lógica fuzzy* foi introduzido em 1965 com base na teoria dos conjuntos *fuzzy* por Lotfi A. Zadeh. A *lógica fuzzy* é uma metodologia apropriada para apreender e manipular a avaliação humana da ambiguidade, incerteza

e subjetividade [10]. Surgiu como uma extensão da lógica clássica [10] e permite que os agentes de decisão incorporem informações não quantificáveis, incompletas e parciais em modelos de apoio à decisão [16]. Assim, como a lógica bivalente é baseada em conjuntos clássicos, a lógica *fuzzy* é baseada em conjuntos fuzzy [16].

Por exemplo, considere-se as seguintes afirmações:

1. A água está "quente".
2. A chuva está "forte".

Nestes exemplos, os termos "quente" e "forte" envolvem imprecisão e são conceitos vagos, ou seja, nas afirmações 1. e 2., não existe informação suficiente que determine exatamente qual a "temperatura" da água ou a "intensidade" da chuva que podemos considerar como limites para tais informações.

2.5.1 Conjuntos Fuzzy

Um conjunto *fuzzy* é um conjunto de objetos com graus de pertença, ou seja, não há um limite definido ou predefinido entre os objetos que são ou não membros do conjunto. A palavra-chave por trás dessa definição é a de "associação": qualquer objeto pode ser um membro de um conjunto "com algum grau" e uma proposição lógica pode ser verdadeira "até certo ponto" [16]. Na teoria clássica dos conjuntos, a pertença dos elementos a um conjunto é definida por meio de valores binários a uma condição bivalente — um objeto pertence ou não ao conjunto. Por outro lado, a teoria dos conjuntos difusos permite a avaliação gradual da associação de elementos de um conjunto, através de uma função de pertença definida no intervalo $[0, 1]$ [16] [17] [35], onde 0 e 1 indicam, respetivamente, o grau mínimo e máximo de pertença, enquanto todos os valores intermédios indicam graus de pertença "parciais" [16].

Com base na literatura, as noções básicas mais importantes dos conjuntos *fuzzy* [16] [36] são:

- Seja X um conjunto universal $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Um conjunto *Fuzzy* \tilde{A} é caracterizado por uma função de pertença $\mu_{\tilde{A}}(x)$ que associa cada elemento x a um número real no intervalo $[0, 1]$ em X . O valor da função $\mu_{\tilde{A}}(x)$ designa-se por grau de pertença de x em \tilde{A} [36].
- Um conjunto *Fuzzy* \tilde{A} num conjunto universal X é convexo, se e só se,

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)) \quad (2.8)$$

$x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0, 1]$, e \min designa o operador mínimo [7].

- A altura de um conjunto *fuzzy* \tilde{A} , $h(\tilde{A})$, é o maior grau de pertença alcançado por qualquer elemento desse conjunto. Um conjunto *fuzzy* \tilde{A} num conjunto universal X é designado normalizado quando $h(\tilde{A}) = 1$ [7].

2.5.1.1 Números *Fuzzy* e principais conceitos

De acordo com Rudolf Seising [37], um número *fuzzy* é um número que, ao invés dos números ordinais, é considerado impreciso. Um número *fuzzy* é uma extensão de um número ordinal, no sentido em que ele não assume apenas um único número, assume pois um conjunto de possíveis valores ligados entre si, sendo que cada número toma um valor entre 0 e 1 [28]. Segundo, Sanayei *et al* [16], um número *fuzzy* como o subconjunto *fuzzy* do conjunto universal X que é convexo e normal. A figura 2.9 ilustra um número *fuzzy* \tilde{n} , conforme esta definição.

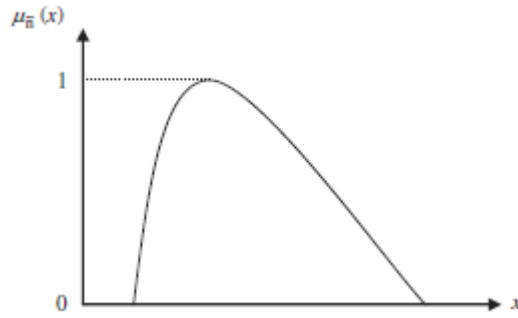


Figura 2.9: Imagem ilustrativa de um número *fuzzy* \tilde{n} [17].

As funções de pertinência podem ter qualquer forma ou tipo no domínio sobre o qual os conjuntos são definidos [14]. Segundo Rudolf Seising, estes números podem tomar funções com formas côncavas, irregulares ou até caóticas, desde que a função de pertinência seja limitada inferiormente por 0 e superiormente por 1; e a cada elemento do domínio $x \in X$, a função deve apenas assumir um único valor, ou seja, o mesmo elemento não pode tomar diferentes graus de pertinência para o mesmo conjunto *fuzzy* [37] [14].

A figura 2.10 representa três funções de pertinência convexas e distintas: triangular, trapezoidal e em forma de sino, respectivamente.

Entre os números *fuzzy* comumente utilizados, os números *fuzzy* triangulares e trapezoidais são provavelmente os mais adotados devido à sua fácil compreensão e à sua simplicidade computacional [28] [7].

Um número *fuzzy* trapezoidal positivo (PTFN) \tilde{n} pode ser definido como (n_1, n_2, n_3, n_4) , como se apresenta na figura 2.11. Para um PTFN $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$, se $n_2 = n_3$, então \tilde{n} é designado por número *fuzzy* triangular [16] [36].

A respetiva função de pertinência $\mu_{\tilde{n}}(x)$ é definida como:

$$\mu_{\tilde{n}}(x) = \begin{cases} 0, & x < n_1 \\ \frac{x - n_1}{n_2 - n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2 \\ 1, & n_2 \leq x \leq n_3 \\ \frac{x - n_4}{n_3 - n_4}, & n_3 \leq x \leq n_4 \\ 0, & x > n_4 \end{cases} \quad (2.9)$$

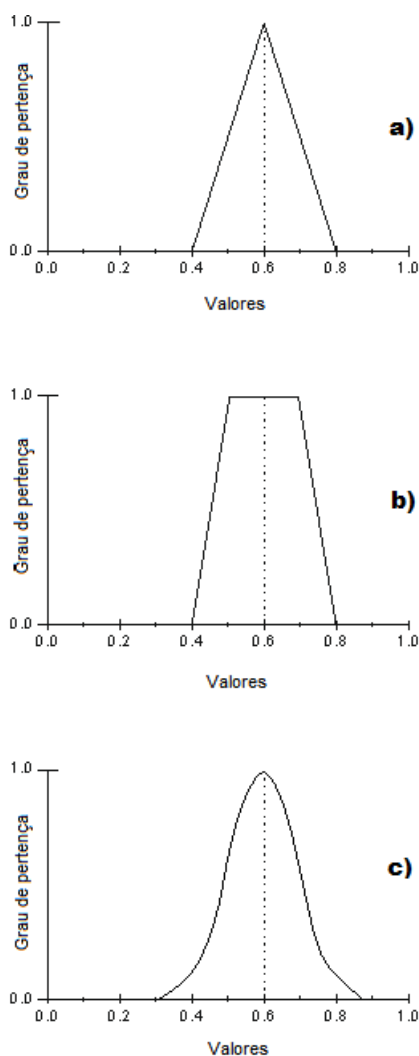


Figura 2.10: Ilustração de três funções de pertinência. Em a) tem-se a triangular; em b) a trapezoidal e em c) em forma de sino. Adaptado de [36] e [37].

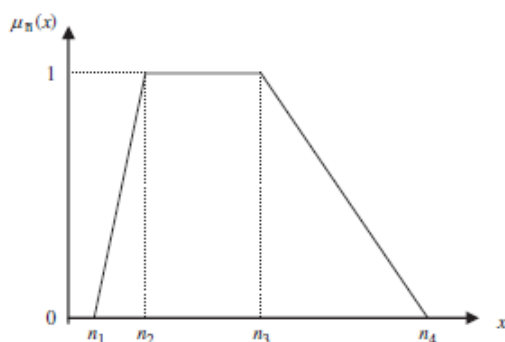


Figura 2.11: Imagem ilustrativa de um número *fuzzy* trapezoidal \tilde{n} [17].

Considere-se dois PTFN, $\tilde{m} = (\tilde{m}_1, \tilde{m}_2, \tilde{m}_3, \tilde{m}_4)$, $\tilde{n} = (\tilde{n}_1, \tilde{n}_2, \tilde{n}_3, \tilde{n}_4)$ e um número real positivo *non-fuzzy* r ¹. As principais operações matemáticas que envolvem os números

¹Um número *non-fuzzy* r pode ser expresso como (r, r, r, r) .

fuzzy \tilde{m} e \tilde{n} são [16] [7]:

$$\tilde{m} \oplus \tilde{n} = [m_1 + n_1, m_2 + n_2, m_3 + n_3, m_4 + n_4], \quad (2.10)$$

$$\tilde{m} \ominus \tilde{n} = [m_1 - n_4, m_2 - n_3, m_3 - n_2, m_4 - n_1], \quad (2.11)$$

$$\tilde{m} \otimes \tilde{n} = [m_1 n_1, m_2 n_2, m_3 n_3, m_4 n_4], \quad (2.12)$$

$$\tilde{m} \otimes r \cong [m_1 r, m_2 r, m_3 r, m_4 r]. \quad (2.13)$$

Note-se que, de acordo com o Princípio da Extensão de Zadeh², a soma e a subtração de quaisquer números *fuzzy* trapezoidais são também números *fuzzy* trapezoidais. No caso da multiplicação, o resultado dessa operação é apenas aproximado a um número *fuzzy* trapezoidal [16] [17].

As operações de $\vee(\max)$ e $\wedge(\min)$ são definidas como [16] [17]:

$$\tilde{m}(\vee)\tilde{n} = (\tilde{m}_1 \vee \tilde{n}_1, \tilde{m}_2 \vee \tilde{n}_2, \tilde{m}_3 \vee \tilde{n}_3, \tilde{m}_4 \vee \tilde{n}_4), \quad (2.14)$$

$$\tilde{m}(\wedge)\tilde{n} = (\tilde{m}_1 \wedge \tilde{n}_1, \tilde{m}_2 \wedge \tilde{n}_2, \tilde{m}_3 \wedge \tilde{n}_3, \tilde{m}_4 \wedge \tilde{n}_4). \quad (2.15)$$

2.5.1.2 Variáveis Linguísticas

Uma das grandes vantagens do uso da lógica *fuzzy* é a possibilidade de transformar linguagem natural em conjuntos de números, permitindo a sua modulação computacional [7] [17] [16].

Uma variável linguística é uma variável cujos valores são expressos por meio de palavras ou frases em linguagem natural ou artificial [17]. O conceito de variável linguística é muito utilizado para lidar com situações complexas e pouco definidas para serem passíveis de descrição por meio de expressões quantitativas [16][17]. Por exemplo, a variável "altura" é uma variável linguística se for definida como "baixo", "muito baixo", "médio", "alto", "muito alto". Os valores linguísticos das variáveis são representados através de números *Fuzzy* [17].

2.5.1.3 Desfuzzificação

O processo que consiste em transformar os números *fuzzy* resultantes da *fuzzificação*³ em valores escalares, ou em valores *crisp* denomina-se por *desfuzzificação* [14].

Existem diferentes algoritmos para a *desfuzzificação*: Centro de Gravidade (COG), Centro de Área (COA), Média dos Máximos (MOM), Máximo Esquerdo e Máximo Direito. Entre todos os métodos de *desfuzzificação*, os dois métodos mais comuns para este propósito, são o MOM e o COG [14][37].

O método MOM considera a média de todos os elementos de x de um conjunto *fuzzy* \tilde{A} que têm o maior grau de pertença [14].

$$MOM_{\mu_{\tilde{A}}(x)} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_n}{n} \quad (2.16)$$

²o Princípio da Extensão de Zadeh permite estender conceitos da teoria clássica para a teoria *fuzzy*.

³A *fuzzificação* é o processo de conversão de um valor numérico em um conjunto *fuzzy* por meio de variáveis linguísticas e respectivas funções de pertença.

O método COG considera o valor que corresponde ao centro de gravidade do conjunto fuzzy \tilde{A} como o valor mais representativo [14]. Seja $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$:

$$\begin{aligned}
 COG_{\mu_{\tilde{A}}(x)} &= \frac{\int x \cdot \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int \mu_{\tilde{A}}(x) dx} \\
 &= \frac{\int_{a_1}^{a_2} \left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1}\right) \cdot x dx + \int_{a_2}^{a_3} x dx + \int_{a_3}^{a_4} \left(\frac{a_4-x}{a_4-a_3}\right) \cdot x dx}{\int_{a_1}^{a_2} \left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1}\right) \cdot x dx + \int_{a_2}^{a_3} dx + \int_{a_3}^{a_4} \left(\frac{a_4-x}{a_4-a_3}\right) dx} \quad (2.17) \\
 &= \frac{-a_1 a_2 + a_3 a_4 + \frac{1}{3}(a_4 - a_3)^2 - \frac{1}{3}(a_2 - a_1)^2}{-a_1 - a_2 + a_3 + a_4}
 \end{aligned}$$

2.5.2 A Teoria de Conjuntos Fuzzy em MCDM

Desde que Bellman e Zadeh [34] propuseram uma metodologia de tomada de decisão em ambientes difusos ou *fuzzy*, muitas metodologias foram estendidas e aplicadas para abordar várias formas de MCDM [7].

De entre vários estudos em ambientes *fuzzy*, Chang *et al.* [9] recorreram a técnicas de MCDM num ambiente *fuzzy* para medir a possibilidade de uma melhor gestão do conhecimento. Chen *et al.* [38] utilizaram a abordagem difusa do MCDM para selecionar o melhor plano de gestão ambiental de uma bacia hidrográfica. Kuo *et al.* [39] aplicaram métodos de *Fuzzy* MCDM para aperfeiçoar a seleção de locais de indústria optoeletrónica. Al-Najjar *et al.* [40] elegeram a abordagem de manutenção mais eficiente utilizando métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios em ambiente *fuzzy*. Opricovic [41] aplicou *Fuzzy* VIKOR para a elaboração de um plano de gestão eficiente de recursos hídricos, nomeadamente para o desenvolvimento de um sistema de captação de água do rio Mlava para melhorar o abastecimento de água potável. Vinodh [15] selecionou o melhor *design* de um produto automóvel por meio de uma metodologia *Fuzzy* MCDM, tendo em conta critérios que contemplaram a metodologia *Lean*, para redução de custos na fabricação do produto.

2.5.3 Fuzzy-VIKOR - Modelo Integrador da Lógica Fuzzy com a Metodologia de Apoio à Decisão Multicritério VIKOR

Como é comum na maior parte das técnicas de MCDM, a metodologia VIKOR foi estendida para lidar com situações de dados imprecisos ou subjetivos, dada a complexidade da linguagem natural humana no que toca à expressão de pensamentos e julgamentos [7]. O método *Fuzzy*-VIKOR foi desenvolvida para resolver problemas de tomada de decisão multicritério num ambiente *fuzzy* cujos critérios são conflitantes e não-comensuráveis (critérios com diferentes unidades) [8]. À semelhança de VIKOR, este método produz uma ordenação de alternativas e determina as soluções de compromisso que são as mais próximas da solução ideal. Num ambiente *fuzzy*, a atribuição de importâncias relativas

aos critérios e a avaliação das alternativas é feita por meio de variáveis linguísticas e a sua modulação matemática é feita recorrendo a números *fuzzy*. Estes últimos são usados para tratar quantidades numéricas imprecisas[7][38][15]. A figura 2.12 representa os passos desta metodologia:

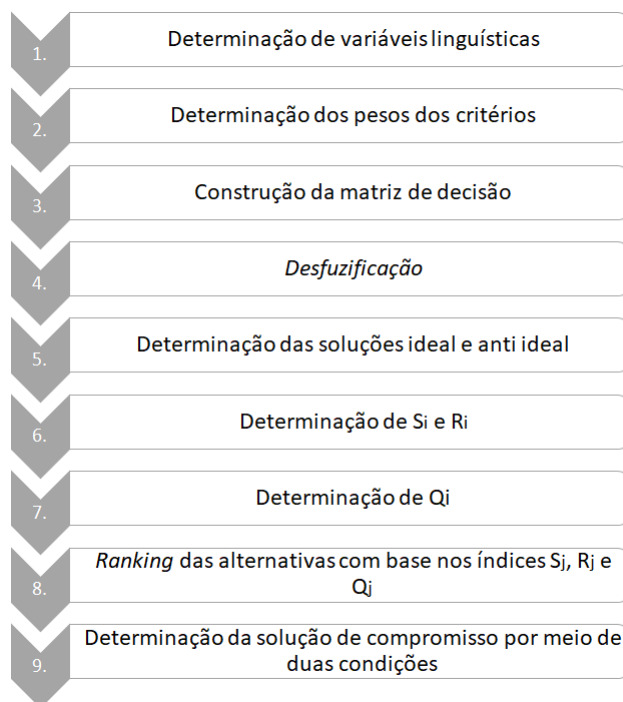


Figura 2.12: Fluxograma da metodologia *Fuzzy-VIKOR*. Adaptado de [7].

Com base nas referências bibliográficas [7], [15], [16] e [10] os passos da figura 2.12 são descritos detalhadamente.

Passo 1. Determinação das variáveis linguísticas

O primeiro passo é o de determinar variáveis linguísticas para avaliar critérios e alternativas. Os termos linguísticos são transformados em números *fuzzy* para classificar cada variável linguística.

Passo 2. Determinação dos pesos dos critérios

Para determinar os pesos de cada critério, os agentes de decisão devem classificar cada critério utilizando as variáveis linguísticas estabelecidas no passo anterior.

Passo 3. Construção da matriz de decisão

A metodologia *Fuzzy-VIKOR*, obriga a que cada decisor avalie todas as alternativas, segundo cada critério, para que seja possível construir a super matriz de decisão (matriz agregadora das avaliações de cada ator) e assim, determinar a solução ideal e anti ideal.

Passo 4. Desfuzificação

Neste passo da metodologia os números *fuzzy* são transformados em números *crisp*, como mencionado na subsecção 2.5.1.3 deste capítulo. Este processo é aplicado com base nos métodos MOM e COG, demonstrados nas formulações da subsecção 2.5.1.3.

Passo 5. Determinação das soluções ideal e anti ideal

Tal como na metodologia VIKOR, para a determinação das soluções ideal e anti ideal, determinam-se os melhores valores f_j^* e os piores valores f_j^- , para cada critério $j=1,2, \dots, n$. Se o critério j representar um benefício:

$$f_j^* = \max x_{ij} \quad f_j^- = \min x_{ij}$$

Porém, se o critério j representar um custo:

$$f_j^* = \min x_{ij} \quad f_j^- = \max x_{ij}$$

Passo 6. Determinação de S_j e R_j

O valor S_i corresponde ao valor da alternativa i com a máxima utilidade de grupo e calcula-se com recurso à métrica L_p :

$$S_i = L_{1,i} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{w_j(f_j^* - x_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right] \quad (2.18)$$

O valor R_i refere-se ao valor da alternativa i com o mínimo desacordo e é calculado com a seguinte formulação:

$$R_i = L_{\infty,i} = \max \left[\frac{w_j(f_j^* - x_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right] \quad (2.19)$$

Passo 7. Determinação de Q_i

O índice Q_i é calculado para cada alternativa e calcula-se da seguinte forma:

$$Q_i = v \left(\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1 - v) \left(\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right) \quad (2.20)$$

Sendo que $S^* = \min S_i$; $S^- = \max S_i$; $R^* = \min R_i$ e $R^- = \max R_i$. v corresponde a uma medida de estratégia e pode variar entre 0 e 1. A literatura recomenda a atribuição de 0.5 a v ($v = 0.5$), que diz respeito a uma estratégia de consenso.

Passo 8. Ordenação das alternativas com base nos índices S_j , R_j e Q_j

Nesta metodologia as alternativas são ordenadas através de três *rankings* baseados nos cálculos produzidos nos dois passos anteriores. Os índices resultantes da ordenação dos valores S_i e R_i baseiam-se, respetivamente, no desempenho de uma dada alternativa e no pior desempenho da alternativa, tendo em conta qualquer critério. Por fim, o índice ordenado pelos valores de Q_i , é uma ponderação entre os dois primeiros índices.

Passo 9. Determinação da solução de compromisso por meio de duas condições

A proposta, como solução de compromisso, consiste no melhor posicionamento da alternativa a' em relação ao índice Q , isto é, a alternativa que tem o menor valor de Q_i se e só se, as seguintes condições forem satisfeitas:

Condição I – Vantagem aceitável

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ, \quad DQ = \frac{1}{m-1}$$

Sendo que $Q(a'')$ corresponde ao valor de Q_i para a segunda melhor alternativa; $Q(a')$ corresponde ao valor de Q_i para a melhor alternativa e m representa o número de alternativas consideradas.

Condição II – Estabilidade aceitável na tomada de decisão

A alternativa a' deve ser também a melhor classificada na ordenação de alternativas por S_i e/ou R_i .

No caso de alguma das condições anteriores não ser satisfeita, então é proposto um conjunto de soluções de compromisso tendo por base os seguintes postulados:

1. Alternativas a' e a'' se apenas a condição II não for satisfeita, ou
2. Alternativas a', a'', \dots, a^k se a condição I não for satisfeita. a^k é determinada pela condição $Q(a^k) - Q(a') \leq DQ$, para o maior valor de k .

Note-se que os passos desta metodologia são similares aos da metodologia VIKOR. A diferença reside na forma como os cálculos são modulados matematicamente. Ora estamos perante um ambiente *fuzzy*, onde os números são números *fuzzy* e, portanto, tratados seguindo postulados estabelecidos pelos autores da metodologia, ora estamos perante um ambiente onde os números são números ordinários e modulados seguindo regras clássicas de lógica matemática bivalente.

2.5.3.1 Aplicações da Metodologia *Fuzzy* no sector da Saúde

A metodologia *Fuzzy* é uma metodologia pouco difundida na área da Saúde, no entanto, foram seleccionadas 4 aplicações da metodologia na literatura que serão explicadas nesta secção.

Afful-Dadzie *et al.* [7] procuraram avaliar a qualidade da informação de saúde disponível na *internet*. Os autores implementaram uma metodologia de apoio à decisão *Fuzzy*-VIKOR para avaliar e classificar quatro alternativas, 4 *websites* das principais organizações que prestam informação *online* de HIV na Suazilândia, segundo 15 critérios. Os critérios foram ponderados por 8 agentes de decisão, por meio de 5 variáveis linguísticas. As alternativas foram avaliadas pelos mesmos agentes de decisão, através de 6 variáveis linguísticas. Os dois grupos de variáveis linguísticas foram convertidos em números *fuzzy* triangulares. Os resultados mostraram uma metodologia que provou ser eficaz e útil na avaliação de informação de saúde *online*. Ademais, os autores compararam os resultados

obtidos pela metodologia *Fuzzy*-VIKOR com a metodologia *Fuzzy*-TOPSIS e concluíram que *Fuzzy*-VIKOR apresentava resultados mais robustos do que *Fuzzy*-TOPSIS.

Chang [10] e Lupo [42] avaliaram a qualidade de serviços de saúde prestados por unidades hospitalares, através da metodologia *fuzzy*. No primeiro caso, Chang [10] aplicou a metodologia *Fuzzy*-VIKOR para desenvolver um processo sistemático que avaliasse a qualidade dos serviços hospitalares em 5 Centros Hospitalares (2 dos quais eram hospitais públicos e 3 do sector privado) da Tailândia. Neste estudo foram consideradas 7 variáveis linguísticas para determinar as importâncias relativas dos 33 critérios selecionados e outro grupo de 7 variáveis linguísticas para avaliar o desempenho das 5 alternativas definidas neste caso de estudo. Foram considerados 18 agentes de decisão, de diferentes áreas da indústria médica que avaliaram a importância relativa dos critérios e o desempenho de cada alternativa, face a cada critério. Neste caso, foram utilizados números *fuzzy* triangulares. Os resultados provaram que os centros hospitalares do setor privado tinham melhor qualidade nos serviços de saúde prestados, do que nos hospitais do setor público. No segundo caso, Lupo [42] avaliou a qualidade dos serviços hospitalares de 9 hospitais de Sicília por meio de uma metodologia baseada na escala *SERVQUAL*, que mede a qualidade dos serviços através da diferença entre a percepção e expectativa dos consumidores, relativamente a esses serviços. Para quantificar a percepção e expectativa dos consumidores, Lupo [42] definiu 4 critérios e 15 subcritérios e incorporou uma metodologia *Fuzzy* e *Fuzzy*-AHP, respetivamente, para obter uma maior fiabilidade nas estimativas efetuadas para os critérios. As variáveis linguísticas consideradas foram parametrizadas com base em números *fuzzy* triangulares.

Jahan [32] utilizou uma extensão do método VIKOR para selecionar materiais biomédicos para diversas aplicações, nomeadamente, em próteses. Este modelo, foi aplicado em 5 exemplos sendo que, para cada um dos deles, foram considerados entre 5 a 9 critérios e entre 5 a 11 alternativas. O modelo emprega uma metodologia criada pelo autor para definir numericamente as variáveis linguísticas e utiliza números *fuzzy* para atribuir pesos aos critérios. Jahan [32] concluiu que os resultados deste estudo mostraram que a metodologia VIKOR era uma potencial ferramenta para ajudar *designers* e agentes de decisão a tomarem decisões, especialmente na seleção de material biomédico.

2.6 Análise de Custo-Benefício

Esta dissertação pretende apoiar a decisão de uma organização hospitalar no processo de afetação de recursos financeiros no âmbito da aquisição de equipamentos médicos. Por isso, pretende-se auxiliar os decisores a escolher o conjunto de ações de acordo com os recursos disponíveis, de forma consciente e racional.

Um portfólio é definido como um conjunto dessas ações. Assim, no caso de existir um total de k ações, podem-se formar 2^k portfólios, desde o portfólio que não contém nenhuma ação, ao portfólio que contém todas as k ações [43].

Uma das abordagens usadas para a seleção do portfólio consiste em priorizar as ações por ordem decrescente de rácios benefício/custo até que sejam esgotados os recursos disponíveis. O portfólio selecionado por essa abordagem produz o maior benefício para o dinheiro gasto, mas não fornece, necessariamente, o maior benefício para o orçamento disponível. Por outro lado, existe a abordagem de otimização que consiste no portfólio que apresenta o máximo de benefício de acordo com os recursos disponíveis e é a solução ótima do problema matemático *Knapsack*, que maximiza o benefício sem exceder o orçamento disponível.

Para se compreender melhor a distinção entre estas duas abordagens considere-se a figura 2.13. A figura 2.13 contém todos os portfólios que se podem formar com 4 ações ($2^4=16$). Um portfólio caracteriza-se por ser eficiente quando não existe outro portfólio com um benefício global tão grande sem despendar mais dinheiro, sendo representados na figura 2.14 por triângulos, que formam a fronteira eficiente (linha pontuada). Os portfólios convexamente eficientes têm uma melhor relação benefício/custo do que os portfólios eficientes, e encontram-se na linha a tracejado (figura 2.13). Na abordagem de otimização são representados todos os portfólios eficientes, sejam convexa ou não convexamente eficientes. Contudo, na abordagem de priorização do rácio benefício/custo apenas são representados os portfólios convexamente eficientes [43].

A seleção do portfólio deve ser realizada com o grupo de decisores e o primeiro passo para se escolher o portfólio eficiente consiste em determinar o benefício incremental P_j de cada ação em relação ao status quo (neste trabalho, P_j é dado pela diferença entre o valor máximo que o coeficiente Q pode tomar (1) e o valor Q obtido para cada alternativa correspondente a cada alternativa). Posteriormente, deve-se determinar o custo associado a cada ação. Por fim, considerando o orçamento fixo B , a abordagem de otimização encontra todos os portfólios eficientes, por resolução do problema de *knapsack*, de acordo com as expressões:

Maximizar:

$$\sum_{j=1}^m P_j X_j \quad (2.21)$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m C_j X_j \leq B \quad (2.22)$$

$$X_j \in \{0, 1\}, j = 1, \dots, t$$

Note-se que P_j corresponde ao benefício incremental da ação j ; C_j corresponde ao custo da ação; X_j corresponde a uma variável binária, que assume o valor 1 se a ação integrar o portfólio e o valor 0, caso contrário; e B representa um orçamento fixo.

De salientar que a formulação matemática de *knapsack* contempla outro tipo de constrangimentos além dos orçamentais referidos. Estes constrangimentos podem traduzir-se por: inclusão e/ou exclusão obrigatória de uma determinada ação nos portfólios; dependências entre ações (por exemplo, uma ação só integra um portfolio se outra determinada

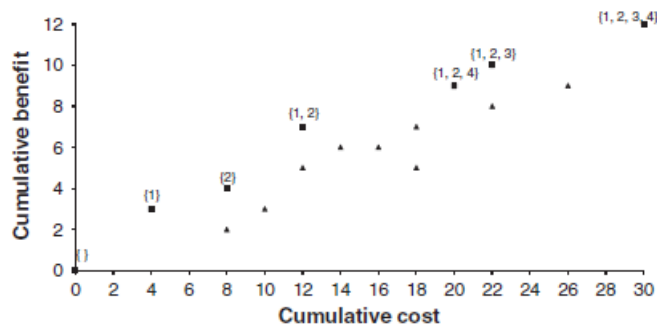


Figura 2.13: Imagem ilustrativa da abordagem de otimização do rácio benefício-custo aplicadas em quatro ações consideradas no estudo [43].

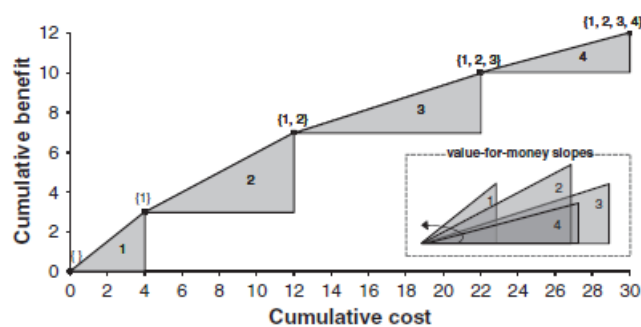


Figura 2.14: Imagem ilustrativa da abordagem de priorização do rácio benefício-custo aplicadas em quatro ações consideradas no estudo [43].

ação também estiver incluída); integração simultânea de ações; e integração de ações exclusivas.

Uma vez descritas as várias atividades necessárias para a construção do modelo, no próximo capítulo encontram-se descritos os resultados da sua aplicação.

METODOLOGIA DE APOIO À DECISÃO PROPOSTA

Neste capítulo será apresentada a metodologia proposta, através de um conjunto de etapas que explicarão, ao detalhe, as opções tomadas na construção do modelo. O conjunto de etapas do modelo estão representadas, através de um fluxograma, na figura 3.1 e são descritas nas subsecções seguintes desta dissertação.

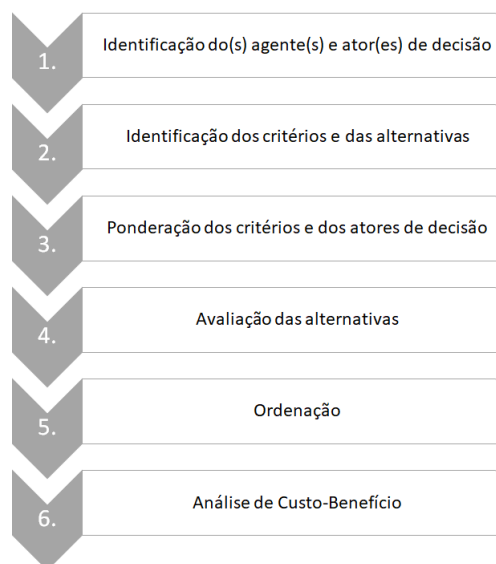


Figura 3.1: Metodologia proposta para o apoio à decisão da aquisição de equipamentos médicos.

3.1 Contextualização

Nesta etapa do trabalho, pretende-se resolver o problema do planeamento da aquisição de equipamentos médicos, introduzido em 2.

O objetivo da construção deste modelo de apoio à aquisição de equipamentos é o de recomendar um ou mais equipamentos, de entre uma lista de equipamentos a adquirir, tendo em conta as necessidades e os recursos disponíveis de uma organização hospitalar. Tal como no modelo de apoio à aquisição desenvolvido anteriormente, para que este modelo possa recomendar a compra de qualquer equipamento, identificou-se em primeiro lugar, um grupo de agentes de decisão, pois são eles os principais responsáveis pela recolha da informação necessária ao desenvolvimento desta metodologia. No âmbito deste trabalho, foram selecionados dois tipos de agentes: o agente e os atores de decisão.

Um agente de decisão define-se como uma pessoa individual ou coletiva que é responsável pela decisão final. Já um ator de decisão é um conjunto de pessoas com cargos de gestão numa unidade hospitalar, responsáveis por auxiliarem o agente de decisão na tomada da decisão final. Assim sendo, os atores de decisão avaliam e classificam as alternativas, contribuindo para a ordenação final das mesmas.

Nesta dissertação, assume-se que o Conselho de Administração é quem desempenha o papel de agente de decisão, tendo em conta que é quem tem a última palavra na decisão de compra de um equipamento médico. Os atores de decisão selecionados para este trabalho foram os seguintes:

- Responsável pela Gestão de Sistemas e Tecnologias de Informação (RGSTI)
- Responsável pela Gestão de Instalações e Equipamentos (RGIE)
- Diretor de Compras (DC)
- Responsável do Serviço (RS)
- Administrador Hospitalar (AH)
- Engenheiro Clínico (EC)

Note-se que, estes atores devem ser selecionados pelo agente de decisão, de forma a garantir a existência de decisores chave com diferentes perspetivas do problema de decisão. A escolha destes atores deve ser baseada na experiência e no conhecimento que demonstram, relativamente à utilização dos equipamentos considerados neste estudo e ao conhecimento que possuem em relação aos mesmos.

Neste trabalho, estes atores terão o papel fundamental de avaliar alternativas segundo critérios de natureza técnica, administrativa e financeira. Os critérios selecionados, assim como as suas definições serão apresentados nas secções seguintes.

3.2 Estruturação do modelo

O ponto de partida para a construção do modelo consiste na sua estruturação. Nesta fase do modelo, pretende-se identificar um conjunto de alternativas e critérios. Em relação às alternativas, propõe-se que sejam consideradas propostas apresentadas por médicos,

pelo Conselho de Administração (CA), pelo(s) ator(es) do modelo e outros profissionais considerados relevantes neste processo. Neste caso de estudo será considerada uma lista de alternativas que inclui equipamentos médicos de Imagiologia, tais como aparelhos de Ressonância Magnética, Tomografia Axial Computorizada (TAC), Raios-X e Ecografia.

No que toca à seleção e definição de critérios, será fundamental recolher informações e perspectivas dos agentes de decisão através de conferências de decisão. O objetivo inicial das conferências de decisão centra-se na elaboração de uma árvore de valor, de modo a que esta represente de forma clara e intuitiva o pensamento dos agentes de decisão, relativamente a critérios que levam à aquisição de equipamentos médicos. Desta forma, os critérios serão construídos de modo a avaliar a aquisição de equipamentos, tendo em conta as alternativas consideradas.

3.3 Identificação e definição dos critérios

Os critérios foram identificados e definidos com recurso às fontes bibliográficas [44], [45], [46], [47] e [6]. A tabela 3.1 representa o conjunto de 14 critérios selecionados para este estudo, divididos em três áreas distintas: técnica, financeira e administrativa.

Tabela 3.1: Tabela representativa dos critérios e respetivas definições.

	Crítérios	Definições
Técnicos	Avaliação Tecnológica	Avaliação feita por cada ator às especificidades técnicas do equipamento.
	Esperança de vida do equipamento	Tempo que se espera que o equipamento dure.
	Requisitos de instalação	Pontos de eletricidade, ponto de água, vestiários, entre outros.
	Necessidade de substituição de equipamento já existente	Prevê-se a necessidade de substituição de equipamento do mesmo tipo num curto espaço de tempo.
	Risco de não compra	Qual o risco caso o hospital não compre o equipamento - vai afetar a utilização de outros equipamentos?
	Fiabilidade do equipamento	O equipamento tem provas dadas no mercado?
Financeiros	Geração de receita	Quanta receita se espera que a utilização do equipamento traga para o hospital?
	Custo de ciclo de vida	Custo que o equipamento traz ao hospital ao longo de toda a sua vida. Desde a instalação até à deposição.
	Custo “à cabeça”	Custo do investimento inicial.
	Custos de manutenção	Custos expectáveis com manutenção preventiva e corretiva.
Administrativos	Grau de utilização	Número de utilizações expectáveis por ano.
	Necessidade de formação de utilizadores	Os utilizadores precisarão de um elevado, médio ou baixo grau de formação?
	Criticidade	O equipamento é crítico para o bom cuidado do paciente?
	Conformidade regulamentar	O equipamento satisfaz todos os critérios regulamentares?

Estes serão os critérios a serem discutidos na fase inicial da construção desta metodologia.

A árvore de valor da figura 3.2 apresenta os critérios agrupados nas suas áreas correspondentes. Observe-se a seguinte árvore de valor construída para o problema da aquisição de equipamentos médicos.

Esta divide-se em duas secções: benefícios e custos, sendo que a secção “benefício” representa os critérios de benefício a serem avaliados pelos atores de decisão. Salientar que os critérios de custo só serão tidos em conta na análise de custo-benefício, por razões já apresentadas em 3.3.

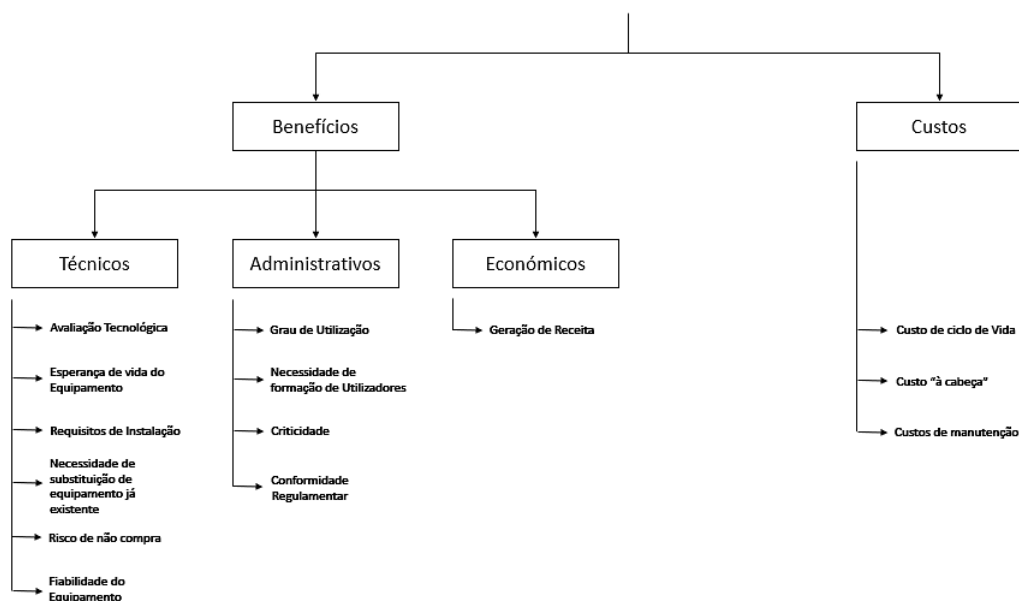


Figura 3.2: Árvore de valor para o problema da aquisição de Equipamentos Médicos.

Seria desejável construir-se esta etapa em conferências de decisão, o que acabou por não acontecer, por isso a árvore de valor foi construída apenas pela facilitadora do estudo. Contudo, conseguiu-se agendar uma reunião com um Administrador Hospitalar com o objetivo de validar a árvore de valor e atribuir pesos aos atores e aos critérios. Na reunião, foram debatidos todos os critérios mencionados na tabela 3.1, assim como o conteúdo de cada um. Explicou-se o que representava cada critério selecionado com base na literatura para que se discutisse o conteúdo de cada critério na perspetiva do Administrador e se tirassem conclusões acerca dos critérios inicialmente incluídos no estudo.

A discussão maior centrou-se no conteúdo do critério "Esperança de Vida do Equipamento", pois o Administrador não concordou que se incluisse esse critério ao conjunto de critérios, alegando que o conteúdo do critério referido já estaria incluído no critério "Avaliação Tecnológica". Portanto, o critério "Esperança de vida do Equipamento" foi eliminado, mantendo-se todos os restantes.

Para além do referido, atente-se para as seguintes indicações:

- os atores deverão ter especial atenção à possível existência de critérios binários e eliminatórios. Por exemplo, o critério de Conformidade Regulamentar, presente na tabela 3.1, é um critério de carácter binário, ou seja, ou a alternativa satisfaz todos os pressupostos regulamentares ou não satisfaz e portanto não poderá ser considerada. Assim, numa primeira fase, caso existam critérios deste tipo, as alternativas deverão ser validadas segundo os mesmos, de modo a selecionar um subconjunto de alternativas que deverá ser avaliado segundo os restantes critérios. Desta forma, evitar-se-à a avaliação de alternativas que foram eliminadas *a priori* por critérios de carácter binário.

- os critérios de custo (financeiros), presentes na tabela 3.1, só serão considerados na análise de custo-benefício, após a determinação do benefício de cada alternativa. O benefício de cada alternativa é determinado, segundo a avaliação de cada alternativa em relação aos critérios de benefício.

Apesar de não ter sido possível discutir os critérios com os agentes de decisão num contexto real, uma reunião com um Administrador Hospitalar permitiu descrever da forma mais clara e completa, o significado dos critérios e assim, foi possível validar os critérios considerados.

3.4 Ponderação dos critérios e dos atores de decisão

Nesta etapa de ponderação, o principal objetivo é a determinação das importâncias relativas dos critérios e dos atores. Parte-se do princípio que cada ator terá diferentes pesos para cada critério, porque não se poderá considerar que os atores tenham o mesmo grau de proficiência a avaliar um determinado critério. Por exemplo, o ator “Diretor de Compras” não terá o mesmo grau de proficiência na avaliação do critério “Avaliação Tecnológica” que terá o ator “Responsável pela Gestão de Sistemas e Tecnologias de Informação”, portanto ambos terão pesos distintos a avaliar o critério referido.

Assim sendo, em primeiro lugar, serão avaliados os pesos relativos de cada critério w_j e posteriormente avaliados os pesos de cada ator w_k para cada critério. A metodologia aplicada neste processo é a metodologia *Swing Weights*. Esta técnica é utilizada na determinação de pesos por ser uma abordagem simples, de fácil compreensão e interativa, na medida em que exige um diálogo constante entre o facilitador e o decisor, conferindo ao decisor um envolvimento direto no processo de tomada de decisão.

Deste modo, para determinar os pesos dos critérios o agente de decisão começa por ordenar os critérios por ordem decrescente de importância, tendo em conta o balanço (*swing*) que existe entre o nível “pior” e o nível “melhor” em cada critério. Depois é pedido ao agente de decisão que compare os *swings* do pior nível para o melhor nível em cada critério com o *swing* do pior nível para o melhor no critério que é mais importante, sendo que a este critério é atribuído 100 pontos. O agente de decisão deverá repetir este processo até que avalie todos os restantes critérios selecionados no estudo. Por fim, normalizam-se os pesos.

Em relação aos pesos dos atores, procede-se tal como na determinação dos pesos dos critérios. A técnica *Swing Weights* neste caso servirá para determinar as importâncias relativas de cada ator em relação a cada critério j , ou seja, em primeiro lugar, o agente de decisão terá de ordenar os atores por ordem decrescente de importância. Posteriormente, é pedido ao agente de decisão que avalie, quantitativamente, a importância de cada par de *swings*, tal como nos pesos dos critérios, começando por comparar aquele que é mais importante, com o segundo mais importante e assim por adiante. Por último, procede-se à normalização dos pesos dos atores.

Nesta etapa de ponderação, tanto os pesos dos critérios como os pesos dos atores foram determinados pelo Administrador Hospitalar mencionado anteriormente, como referido no início deste capítulo.

3.5 Avaliação das alternativas

Na fase de avaliação das alternativas, cada ator deverá avaliar cada uma das alternativas a_i com respeito a cada critério j . Para tal, deverá ser construída uma matriz $m \times n$ para cada ator, em que m diz respeito ao número de alternativas e n corresponde ao número de critérios. A matriz decisão pode ser observada na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Matriz de decisão $m \times n$ do ator k

Ator k	C_1	...	C_j	...	C_n
a_1					
a_2					
\vdots					
a_i					
\vdots					
a_{m-1}					
a_m					

Na avaliação das alternativas será utilizada uma de duas abordagens distintas. Como foi referido, neste trabalho pretende-se estudar a influência do uso de variáveis linguísticas no problema de decisão da aquisição de equipamentos médicos, mais especificamente na avaliação das alternativas pelos atores. Deste modo, será aplicada uma abordagem *fuzzy*, que utiliza variáveis qualitativas para a classificação de alternativas e uma abordagem *"non-fuzzy"* que utiliza variáveis quantitativas, sendo os resultados das duas abordagens discutidos no capítulo 4. Cada uma destas avaliações integram a opinião de cada ator em relação ao desempenho de uma dada alternativa num determinado critério. As variáveis utilizadas nas duas abordagens são descritas seguidamente.

- **Abordagem com variáveis qualitativas**

A avaliação de alternativas considera uma escala qualitativa através de variáveis linguísticas que permitirá aos atores expressarem os seus juízos de forma mais precisa, face à incerteza existente neste problema de decisão. Esta escala poderá ser dividida em quantas variáveis linguísticas se desejar. Neste estudo, a escala considerada contemplará as seguintes variáveis: Muito Bom (MB), Bom (B), Razoavelmente Bom (RB), Médio (ME), Razoavelmente Mau (RM), Mau (M) e Muito Mau (MM).

- **Abordagem com variáveis quantitativas**

Nesta abordagem, as alternativas serão avaliadas com recurso a variáveis quantitativas recomendando-se o uso de uma escala de 0 a 100 pontos, uma vez que é uma

escala com a qual todos os indivíduos estarão ambientados, pois é uma escala frequentemente utilizada em situações do dia-a-dia. Os atores deverão usar a mesma escala para cada critério, mas poderão também, se desejarem, utilizar escalas diferentes para critérios diferentes. Na verdade, poderão ser escalas de quantos pontos se desejar, conforme o grau de especificidade que se quiser aplicar.

Segue-se o passo da agregação das matrizes de decisão dos atores, numa única “super” matriz de decisão, como se apresenta em 3.2. Desta forma, considerando os seis atores, será utilizada a seguinte expressão:

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^6 w_k z_{ijk} \quad (3.1)$$

Note-se que w_k corresponde à importância relativa do ator; z_{ijk} é a avaliação feita pelo ator k à alternativa i , segundo o critério j e x_{ij} corresponde aos elementos da “super” matriz de decisão. Esta formulação será aplicada tanto para a abordagem com variáveis quantitativas, como para a abordagem qualitativa.

Deve-se salientar ainda que a fase de avaliação de alternativas e a fase de ponderação podem ocorrer em simultâneo, visto que a primeira é realizada apenas pelos atores e a segunda pelo agente de decisão.

3.6 Ordenação das alternativas

Nesta etapa do processo de decisão, pretende-se aplicar um método que permita ordenar as alternativas. No presente trabalho, optou-se por um método multicritério compensatório de proximidade relativa a uma alternativa ideal - o método VIKOR - pois este método é considerado bastante intuitivo e não obriga a um elevado número de iterações. Para além do mais, em termos de literatura, é um dos métodos mais utilizados para ordenar alternativas em problemas de tomada de decisão [16] [32] [33]. Na presente dissertação, este método será aplicado seguindo duas abordagens diferentes:

- **Abordagem Fuzzy**

Nesta abordagem o método VIKOR será integrado na metodologia *fuzzy*; este método designa-se por *Fuzzy VIKOR*. O princípio assente neste método é o de utilizar variáveis linguísticas na classificação de alternativas por parte dos atores, como mencionado na secção 3.5, para resolver problemas de incerteza e subjetividade envolvidos neste problema de decisão. Este método segue os mesmos passos do método VIKOR, mas a sua modulação matemática será distinta, pelo facto de que os *inputs* da metodologia serem por meio de números *fuzzy*. Este método produzirá uma lista ordenada de alternativas.

- **Abordagem non-fuzzy**

O método VIKOR será aplicado, tal como apresentado no capítulo 2, tendo por base classificações de alternativas pelos atores, com recurso a escalas quantitativas. Este método produzirá uma lista ordenada de alternativas e a sua robustez será comparada com o método *Fuzzy VIKOR*.

Em ambas as abordagens o método VIKOR, deverá assumir sempre $v=0.5$, que corresponde a uma estratégia de consenso. Isto significa que existe um meio-termo entre uma análise totalmente compensatória e uma análise totalmente não compensatória.

Tanto o método *Fuzzy VIKOR*, como o método VIKOR, desenvolvem-se a partir de uma "super" matriz de decisão, como se apresenta na tabela 3.3.

Tabela 3.3: "Super"matriz de decisão.

	C_1	C_2	...	C_j	...	C_n
a_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1n}
a_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2n}
...
a_i	x_{i1}	x_{i2}	...	x_{ij}	...	x_{in}
...
a_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mj}	...	x_{mn}

No capítulo 4 serão comparadas as duas abordagens ao método VIKOR e a robustez de cada uma das listas ordenadas produzidas.

3.7 Análise de Custo-Benefício

Após a ordenação das alternativas, o agente de decisão deverá incluir os critérios de custo na metodologia. Assim sendo, na última fase deste modelo de apoio à decisão pretende-se auxiliar o agente de decisão a escolher um portfólio, isto é, o conjunto de equipamentos a adquirir, de acordo com os recursos disponíveis, de forma consciente e racional.

Como referido no capítulo 2, uma das abordagens usadas para a seleção do portfólio consiste em priorizar as ações por ordem decrescente de rácios benefício/custo até que sejam esgotados os recursos disponíveis. Por outro lado, existe a abordagem de otimização que consiste no portfólio que apresenta o máximo de benefício de acordo com os recursos disponíveis. O portfólio ótimo será obtido por meio da resolução do problema *Knapsack*, que maximiza o benefício sem exceder o orçamento disponível.

Neste trabalho, optou-se pela abordagem da otimização, pelo facto desta abordagem ser mais completa e mais adequada.

A seleção do portfólio deve ser realizada com o agente de decisão e o primeiro passo consiste em determinar o benefício P_j e o custo de cada ação C_j . P_j é dado pela diferença entre o valor máximo que o coeficiente Q pode tomar ($Q_{max} = 1$) e o valor Q obtido de cada alternativa. Tendo em conta o orçamento fixo B , os portfólios eficientes serão determinados através da resolução do seguinte problema matemático:

Maximizar:

$$\sum_{j=1}^m P_j X_j \quad (3.2)$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m C_j X_j \leq B \quad (3.3)$$

$$X_j \in 0, 1, j = 1, \dots, t$$

sendo que P_j corresponde ao benefício da ação j ; C_j corresponde aos custos dos equipamentos médicos considerados; X_j corresponde a uma variável binária, que assume o valor 1 se a ação integrar o portfólio e o valor 0, caso contrário; e B representa as restrições orçamentais da organização hospitalar.

Uma vez descritas as várias atividades necessárias para a adequada aplicação da metodologia, no próximo capítulo encontram-se descritos os resultados da sua aplicação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Para que se compreenda devidamente a aplicação da metodologia proposta no capítulo anterior, neste capítulo, será aplicada a um caso de estudo hipotético. A elevada dificuldade em estabelecer-se uma parceria com uma unidade hospitalar no tempo estipulado para a realização desta dissertação, levou a que não se conseguisse ter um caso de estudo real. Ainda assim, o caso de estudo tem por base a informação disponibilizada pelo Administrador Hospitalar que se mostrou disponível em colaborar no estudo desta dissertação.

Desta forma e tendo por base o conjunto de objetivos definidos no capítulo anterior para a aplicação desta metodologia, o primeiro centra-se na identificação do grupo de alternativas que serão analisadas ao longo da implementação da metodologia. Assim, dentro dos equipamentos médicos existentes, selecionou-se um conjunto de equipamentos da unidade de Radiologia, não só por implicarem elevados custos às organizações hospitalares, como também por serem amplamente utilizados em diagnóstico e planeamento terapêutico de outros serviços prestados pelas mesmas. Os equipamentos médicos considerados neste estudo e os respetivos custos apresentam-se na tabela 4.1.

Segue-se o passo da identificação dos critérios. Como já foi referido no capítulo 3, a identificação de critérios resultou de um levantamento de requisitos feitos com recurso a bibliografia, tendo sempre por base o modelo de apoio à aquisição desenvolvido anteriormente a este modelo. Assim sendo, os critérios considerados são os que constam na tabela 3.1 da secção 3.3. Conforme mencionado no capítulo anterior, após elaboração da árvore de valor apresentada na figura 3.2 e consequente discussão com o Administrador Hospitalar, o critério "Esperança de vida do Equipamento" foi excluído do grupo de critérios, perfazendo um total de 13 critérios a considerar neste estudo. Portanto, os

Tabela 4.1: Alternativas consideradas no problema de decisão da aquisição de Equipamentos Médicos.

	Tipo de Equipamento	Custo (€)
a_1	Tomografia Computorizada	900 000
a_2	Ressonância Magnética	1 500 000
a_3	Tomografia Computorizada	550 000
a_4	Raios-X	100 000
a_5	Ecografia	60 000
a_6	Mamografia	95 000
a_7	Raios-X	150 000
a_8	Mamografia	65 000
a_9	Ressonância Magnética	1 200 000
a_{10}	Ecografia	80 000
a_{11}	Mamografia	50 000
a_{12}	Ressonância Magnética	900 000
a_{13}	Ressonância Magnética	1 300 000

critérios sujeitos a avaliação são: avaliação tecnológica, requisitos de instalação, necessidade de substituição de equipamento já existente, risco de não-compra, fiabilidade do equipamento, grau de utilização, necessidade de formação de utilizadores, criticidade, conformidade regulamentar, geração de receita, custo de ciclo de vida, custo "à cabeça" e custos de manutenção. Note-se que o critério conformidade regulamentar deve ser utilizado para excluir da análise as alternativas que não o verificarem, devido à sua natureza binária e pela obrigatoriedade do seu cumprimento. Deste modo, as alternativas a_{11} , a_{12} e a_{13} foram excluídas deste estudo, em consequência da sua não conformidade tecnológica, tendo-se ficado com um total de 10 alternativas a avaliar.

Como já foi referido, os critérios de custo só serão tidos em conta na análise de custo-benefício, portanto a próxima etapa dedica-se, exclusivamente, aos critérios de benefício selecionados para este estudo. Estes critérios são:

- Avaliação Tecnológica (AT)
- Requisitos de Instalação (RI)
- Necessidade de substituição de equipamento já existente (NSE)
- Risco de não-compra (RNC)
- Fiabilidade do Equipamento (FE)

-
- Grau de Utilização (GU)
 - Necessidade de Formação de Utilizadores (NFU)
 - Criticidade (C)
 - Geração de Receita (GR)

Assim sendo, o passo seguinte é a determinação das importâncias relativas dos atores para cada critério e dos critérios entre si. Tanto os pesos dos atores, como os pesos dos critérios foram determinados avaliando a importância relativa que os mesmos representavam para o agente de decisão. O método *Swing weights* foi aplicado nesta etapa.

Para isso, fez-se uma projeção na reunião com o agente de decisão, em que se mostravam e descreviam diferentes *swings*, isto é, diferentes passagens entre níveis, ou melhor, entre os níveis referência de cada ator e de cada critério. O procedimento iniciou-se com a ordenação de preferência dos atores em relação a cada critério. Para a ordenação dos atores, pediu-se ao agente de decisão para pensar em qual dos *swings*, isto é, em qual das passagens do nível "pior" para o nível "melhor" num determinado ator, mantendo os restantes no nível "pior", a avaliação do critério c_j se tornaria mais apropriada, tendo em conta as suas funções no Hospital. Após identificação do *swing* mais importante, pediu-se para identificar o segundo mais importante, e assim sucessivamente, até que se ordenasse por ordem decrescente de preferência os 6 *swings* apresentados. Seguiu-se a etapa da quantificação dos valores a atribuir aos coeficientes de ponderação, onde se pediu ao agente de decisão para classificar todos os *swings* ordenados no passo anterior. O *swing* mais importante do ponto de vista do agente de decisão, teve uma classificação de 100 pontos e serviu de referência para a classificação dos restantes, ou seja, todos os *swings* restantes foram classificados comparando-os sempre com o *swing* de referência. A figura 4.1 mostra este procedimento para o critério **Avaliação Tecnológica**. Note-se que este processo foi, efetivamente, aplicado a todos os critérios aquando da reunião com o agente de decisão. Após ordenação dos coeficientes de ponderação e sua quantificação, segue-se o passo da normalização. Assim, com base na expressão 2.1 presente na secção 2.4.3 do capítulo 2, obteve-se os coeficientes de ponderação normalizados, como se pode observar na tabela 4.2.

Estando determinados os pesos de cada ator para cada critério, é necessário determinar as importâncias relativas de cada critério para a decisão final. Pelo mesmo processo, atribuiu-se a ponderação aos 9 critérios. Para a ordenação dos critérios, pediu-se ao agente de decisão para pensar num equipamento por exemplo, um equipamento de Ressonância Magnética, que apresentasse um perfil correspondente a encontrar-se em todos os níveis "pior", nos 9 critérios considerados. Depois pediu-se para pensar em qual dos *swings* do nível "pior" para o nível "melhor", de um determinado critério, mantendo os restantes no nível "pior", a aquisição de um determinado equipamento tornava-se mais benéfica e atrativa para o Hospital. Depois de identificado o *swing* mais importante, identificou-se o segundo mais importante, e assim por diante, até que se ordenasse por ordem decrescente

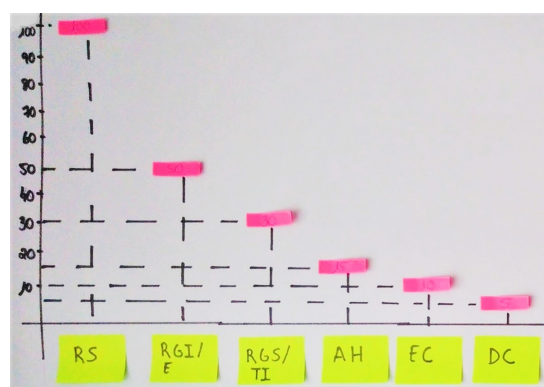


Figura 4.1: Determinação dos pesos dos atores em relação ao critério **Avaliação Tecnológica**, pelo agente de decisão. O primeiro passo foi o de ordenação. Assim, a ordem de preferência dos atores em relação ao critério Avaliação Tecnológica é: RS > Responsável pela Gestão de Instalações e Equipamentos (RGIE) > Responsável pela Gestão de Sistemas e Tecnologias de Informação (RGSTI) > Administrador Hospitalar (AH) > Engenheiro Clínico (EC) > Diretor de Compras (DC). Como o ator RS foi determinado como o mais importante para a avaliação do referido critério, então teve um coeficiente de ponderação de 100 pontos. Assim, o segundo mais importante teve 50 pontos, e os restantes, 30, 15, 10 e 5 pontos, respetivamente.

de preferência os 9 *swings* apresentados. O restante processo ocorreu tal como na determinação dos pesos dos atores. Observe-se a figura 4.2 que representa o procedimento aplicado.

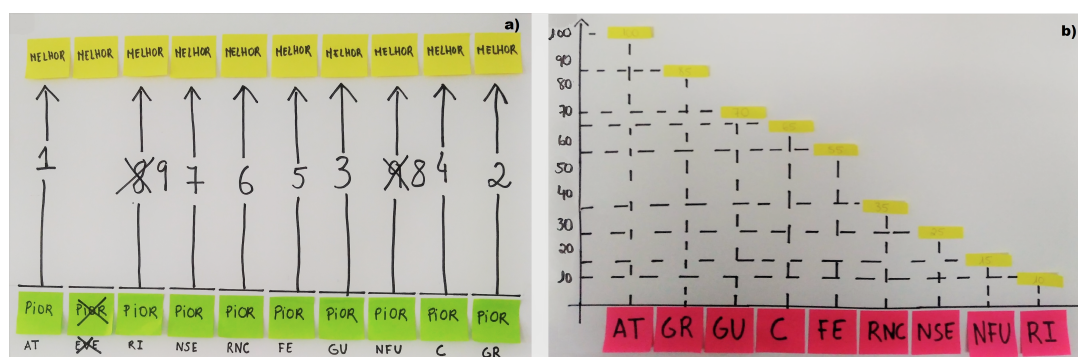


Figura 4.2: Determinação dos pesos dos critérios. O primeiro passo foi o de ordenação, representado em a). Assim, a ordem obtida para os critérios foi: AT > GR > GU > C > FE > RNC > NSE > NFU > RI. Como o critério AT foi determinado como o mais importante, então teve um coeficiente de ponderação de 100 pontos. Assim, o segundo mais importante teve 85 pontos, e os restantes, 70, 65, 55, 35, 25, 15 e 10 pontos, respetivamente, como se observa em b).

A tabela 4.3 apresenta os coeficientes de ponderação e as normalizações respetivas a cada critério.

Finda a fase de ponderação, dá-se início à fase de avaliação, que pressupõe que cada ator avalie, individualmente, as alternativas segundo cada um dos critérios. Como não foi possível recolher dados reais dos atores, foram geradas 6 matrizes de decisão aleatórias para cada um dos atores considerados neste estudo. Nesta fase serão aplicadas as duas abordagens mencionadas na secção 3.5 do capítulo 3. Posteriormente à fase de avaliação, serão então aplicados os dois métodos para a ordenação das alternativas.

Tabela 4.2: Coeficientes de ponderação e respectivas normalizações dos atores em relação a cada critério.

	Atores	Coeficientes de Ponderação (0-100)	Normalização
Avaliação Tecnológica	Responsável de Serviço	100	0.476
	Responsável pela Gestão de Sistemas/Tecnologias de Informação	30	0.143
	Responsável pela Gestão de Instalações/Equipamentos	50	0.238
	Administrador Hospitalar	15	0.071
	Diretor de Compras	5	0.024
	Engenheiro Clínico	10	0.048
Requisitos de Instalação	Responsável de Serviço	25	0.092
	Responsável pela Gestão de Sistemas/Tecnologias de Informação	90	0.330
	Responsável pela Gestão de Instalações/Equipamentos	100	0.366
	Administrador Hospitalar	3	0.011
	Diretor de Compras	45	0.165
	Engenheiro Clínico	10	0.037
Necessidade de substituição de equipamento já existente	Responsável de Serviço	100	0.308
	Responsável pela Gestão de Sistemas/Tecnologias de Informação	30	0.092
	Responsável pela Gestão de Instalações/Equipamentos	90	0.277
	Administrador Hospitalar	80	0.246
	Diretor de Compras	5	0.015
	Engenheiro Clínico	20	0.062
Risco de não compra	Responsável de Serviço	100	0.429
	Responsável pela Gestão de Sistemas/Tecnologias de Informação	50	0.215
	Responsável pela Gestão de Instalações/Equipamentos	50	0.215
	Administrador Hospitalar	20	0.086
	Diretor de Compras	3	0.013
	Engenheiro Clínico	10	0.043
Fiabilidade do Equipamento	Responsável de Serviço	100	0.351
	Responsável pela Gestão de Sistemas/Tecnologias de Informação	25	0.088
	Responsável pela Gestão de Instalações/Equipamentos	90	0.316
	Administrador Hospitalar	5	0.018
	Diretor de Compras	55	0.193
	Engenheiro Clínico	10	0.035
Grau de Utilização	Responsável de Serviço	100	0.444
	Responsável pela Gestão de Sistemas/Tecnologias de Informação	20	0.089
	Responsável pela Gestão de Instalações/Equipamentos	30	0.133
	Administrador Hospitalar	60	0.267
	Diretor de Compras	5	0.022
	Engenheiro Clínico	10	0.044
Necessidade de formação de utilizadores	Responsável de Serviço	100	0.521
	Responsável pela Gestão de Sistemas/Tecnologias de Informação	5	0.026
	Responsável pela Gestão de Instalações/Equipamentos	10	0.052
	Administrador Hospitalar	50	0.260
	Diretor de Compras	25	0.130
	Engenheiro Clínico	2	0.010
Criticidade	Responsável de Serviço	100	0.263
	Responsável pela Gestão de Sistemas/Tecnologias de Informação	80	0.211
	Responsável pela Gestão de Instalações/Equipamentos	80	0.211
	Administrador Hospitalar	90	0.237
	Diretor de Compras	20	0.053
	Engenheiro Clínico	10	0.026
Geração de Receita	Responsável de Serviço	80	0.267
	Responsável pela Gestão de Sistemas/Tecnologias de Informação	15	0.050
	Responsável pela Gestão de Instalações/Equipamentos	30	0.100
	Administrador Hospitalar	100	0.333
	Diretor de Compras	70	0.233
	Engenheiro Clínico	5	0.017

Tabela 4.3: Coeficientes de ponderação e respectivas normalizações dos critérios.

Crítérios	Coeficientes de ponderação (0-100)	Normalização
Avaliação Tecnológica	100	0.217
Requisitos de instalação	10	0.022
Necessidade de substituição de equipamento já existente	25	0.054
Risco de não compra	35	0.076
Fiabilidade do equipamento	55	0.120
Grau de Utilização	70	0.152
Necessidade de formação de utilizadores	15	0.033
Criticidade	65	0.141
Geração de Receita	85	0.185

4.1 Aplicação da abordagem *Fuzzy*

Na abordagem *fuzzy*, os atores utilizam uma escala de avaliação com recurso a 7 variáveis linguísticas - Muito Bom (MB), Bom (B), Razoavelmente Bom (RB), Médio (ME), Razoavelmente Mau (RM), Mau (M) e Muito Mau (MM). Estas variáveis linguísticas são expressas através de números *fuzzy* trapezoidais, que se apresentam na tabela 4.4 e na figura 4.3.

Tabela 4.4: Variáveis linguísticas consideradas para a avaliação das alternativas.

Variáveis linguísticas	Números <i>fuzzy</i> trapezoidais
Muito Mau (MM)	(0.0, 0.0, 0.1, 0.2)
Mau (M)	(0.1, 0.2, 0.2, 0.3)
Razoavelmente Mau (RM)	(0.2, 0.3, 0.4, 0.5)
Médio (ME)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)
Razoavelmente Bom (RB)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
Bom (B)	(0.7, 0.8, 0.8, 0.9)
Muito Bom (MB)	(0.8, 0.9, 1.0, 1.0)

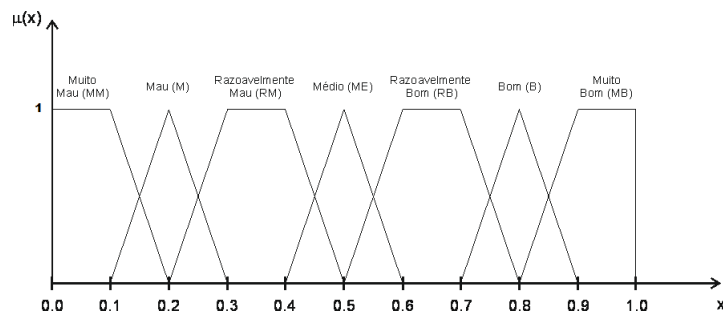


Figura 4.3: Variáveis linguísticas para a avaliação das alternativas.

As matrizes de decisão individuais correspondentes à avaliação dos atores RGSTI, RGIE, AH, DC e EC são apresentadas na secção I pelas tabelas I.1, I.2, I.3, I.4, I.5. A matriz de decisão do ator RS apresenta-se na tabela 4.5.

Tabela 4.5: Matriz de avaliação do ator RS.

RS	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a_1	B	B	MB	ME	MM	RB	ME	MM	ME
a_2	M	ME	RM	M	ME	B	RB	M	RB
a_3	MB	RM	B	B	ME	B	B	M	MM
a_4	M	RM	MM	RB	RB	B	MM	M	MB
a_5	ME	RM	RM	M	RB	RB	RM	RB	MM
a_6	MB	RB	ME	MM	RM	RB	RB	RB	B
a_7	M	MB	M	RM	M	B	RM	M	RB
a_8	ME	RB	RB	B	MB	B	ME	B	MB
a_9	MM	ME	M	ME	B	RM	ME	RB	RM
a_{10}	MM	MB	MB	MM	B	MM	RB	ME	RB

Tendo em conta as importâncias relativas de cada ator (Tabela 4.2), é possível agregar as matrizes numa única matriz através da formulação 3.1 presente na secção 3.5 do capítulo 3.

A "super"matriz de decisão agregadora das avaliações de cada ator, está apresentada nas tabelas 4.6 e 4.7.

Tabela 4.6: Matriz de decisão agregadora das matrizes de cada ator para os critérios AT, RI, NSE, RNC e FE.

	AT	RI	NSE	RNC	FE
a_1	(0.607,0.705,0.738,0.814)	(0.453,0.550,0.586,0.686)	(0.618,0.718,0.812,0.845)	(0.251,0.308,0.361,0.452)	(0.068,0.102,0.198,0.298)
a_2	(0.202,0.300,0.329,0.429)	(0.078,0.125,0.182,0.282)	(0.245,0.345,0.429,0.529)	(0.196,0.291,0.306,0.406)	(0.516,0.616,0.679,0.744)
a_3	(0.581,0.681,0.755,0.805)	(0.225,0.292,0.355,0.434)	(0.517,0.617,0.660,0.732)	(0.606,0.706,0.753,0.853)	(0.388,0.488,0.518,0.618)
a_4	(0.248,0.348,0.374,0.469)	(0.309,0.409,0.508,0.608)	(0.329,0.398,0.468,0.557)	(0.409,0.509,0.582,0.682)	(0.437,0.518,0.609,0.704)
a_5	(0.329,0.429,0.436,0.531)	(0.419,0.503,0.529,0.628)	(0.428,0.528,0.592,0.668)	(0.151,0.229,0.264,0.355)	(0.330,0.418,0.467,0.567)
a_6	(0.483,0.569,0.638,0.688)	(0.206,0.273,0.368,0.468)	(0.234,0.305,0.340,0.434)	(0.242,0.300,0.370,0.465)	(0.256,0.356,0.444,0.544)
a_7	(0.250,0.350,0.386,0.486)	(0.540,0.640,0.700,0.756)	(0.302,0.402,0.428,0.503)	(0.241,0.320,0.397,0.497)	(0.279,0.379,0.416,0.511)
a_8	(0.288,0.388,0.398,0.495)	(0.351,0.447,0.476,0.576)	(0.632,0.732,0.798,0.865)	(0.576,0.655,0.711,0.776)	(0.423,0.491,0.572,0.637)
a_9	(0.219,0.271,0.357,0.450)	(0.429,0.529,0.586,0.646)	(0.132,0.203,0.257,0.357)	(0.504,0.600,0.657,0.734)	(0.293,0.351,0.396,0.493)
a_{10}	(0.264,0.298,0.395,0.464)	(0.319,0.419,0.462,0.553)	(0.617,0.717,0.763,0.826)	(0.258,0.313,0.379,0.479)	(0.444,0.542,0.584,0.684)

Tabela 4.7: Matriz de decisão agregadora das matrizes de cada ator para os critérios GU, NFU, C e GR.

	GU	NFU	C	GR
a_1	(0.507,0.604,0.696,0.782)	(0.356,0.456,0.495,0.595)	(0.439,0.513,0.566,0.666)	(0.462,0.562,0.573,0.672)
a_2	(0.616,0.716,0.738,0.838)	(0.595,0.695,0.766,0.847)	(0.150,0.226,0.276,0.371)	(0.443,0.543,0.582,0.680)
a_3	(0.587,0.687,0.707,0.793)	(0.494,0.592,0.608,0.708)	(0.516,0.616,0.661,0.739)	(0.362,0.435,0.535,0.635)
a_4	(0.500,0.600,0.607,0.702)	(0.122,0.168,0.242,0.342)	(0.295,0.389,0.461,0.561)	(0.530,0.630,0.725,0.775)
a_5	(0.318,0.382,0.478,0.578)	(0.149,0.244,0.304,0.404)	(0.287,0.363,0.439,0.539)	(0.367,0.438,0.477,0.577)
a_6	(0.407,0.493,0.587,0.687)	(0.495,0.581,0.676,0.747)	(0.350,0.429,0.508,0.608)	(0.480,0.580,0.585,0.685)
a_7	(0.509,0.604,0.636,0.736)	(0.213,0.282,0.365,0.465)	(0.292,0.371,0.416,0.513)	(0.620,0.720,0.790,0.847)
a_8	(0.524,0.624,0.662,0.762)	(0.452,0.546,0.580,0.678)	(0.484,0.584,0.613,0.692)	(0.557,0.628,0.717,0.757)
a_9	(0.233,0.316,0.378,0.478)	(0.346,0.433,0.455,0.552)	(0.382,0.476,0.555,0.655)	(0.218,0.280,0.370,0.470)
a_{10}	(0.418,0.473,0.560,0.620)	(0.313,0.406,0.467,0.567)	(0.405,0.505,0.534,0.634)	(0.518,0.618,0.717,0.778)

Após recolha de todos os dados necessários do agente de decisão e dos atores, é aplicado um método para a ordenação das alternativas. De acordo com o capítulo anterior, será utilizado o método *Fuzzy*-VIKOR. O primeiro passo na aplicação deste método é a desfuzificação da matriz de decisão 4.6, para que os números *fuzzy* sejam transformados em números escalares (valores *crisp*). Neste trabalho foram aplicadas dois métodos de desfuzificação distintos, de forma a investigar-se possíveis diferenças nos resultados produzidos por ambas: Centro de Gravidade (COG), e Média dos Máximos (MOM). Os resultados da sua aplicação estão presentes nas tabelas 4.8 e 4.9.

Tabela 4.8: Desfuzificação da matriz de decisão com base no método COG.

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a_1	0.715	0.569	0.746	0.345	0.169	0.647	0.476	0.547	0.567
a_2	0.315	0.169	0.387	0.300	0.637	0.727	0.725	0.257	0.562
a_3	0.703	0.327	0.630	0.729	0.503	0.692	0.601	0.632	0.493
a_4	0.359	0.458	0.439	0.545	0.567	0.602	0.221	0.427	0.663
a_5	0.431	0.521	0.553	0.250	0.446	0.440	0.276	0.408	0.466
a_6	0.593	0.330	0.329	0.346	0.400	0.544	0.624	0.475	0.583
a_7	0.368	0.657	0.407	0.365	0.396	0.621	0.333	0.399	0.742
a_8	0.392	0.463	0.755	0.679	0.5306	0.643	0.564	0.592	0.664
a_9	0.326	0.546	0.239	0.623	0.385	0.352	0.447	0.517	0.336
a_{10}	0.356	0.438	0.729	0.359	0.564	0.518	0.439	0.520	0.656

Tabela 4.9: Desfuzificação da matriz de decisão com base no método MOM.

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a_1	0.716	0.569	0.748	0.343	0.167	0.647	0.476	0.546	0.567
a_2	0.315	0.167	0.387	0.300	0.639	0.727	0.726	0.256	0.562
a_3	0.705	0.327	0.632	0.729	0.503	0.693	0.601	0.633	0.492
a_4	0.360	0.458	0.438	0.545	0.567	0.602	0.218	0.426	0.665
a_5	0.431	0.520	0.554	0.250	0.445	0.439	0.276	0.407	0.465
a_6	0.595	0.329	0.328	0.344	0.400	0.543	0.624	0.474	0.583
a_7	0.368	0.659	0.408	0.364	0.396	0.621	0.331	0.398	0.744
a_8	0.392	0.462	0.757	0.680	0.531	0.643	0.564	0.593	0.665
a_9	0.324	0.548	0.237	0.623	0.383	0.351	0.446	0.517	0.335
a_{10}	0.355	0.438	0.731	0.357	0.564	0.518	0.438	0.520	0.658

Como se pode observar nas tabelas 4.8 e 4.9, não existem alterações significativas nos valores *crisp*, portanto pode afirmar-se com clareza, que qualquer um dos dois métodos poderá ser utilizado na fase de desfuzificação desta metodologia. Uma vez que se tem de optar por uma das matrizes desfuzificadas para o passo seguinte desta metodologia, escolheu-se a primeira. Após construção da matriz de decisão desfuzificada, segue-se o passo do cálculo das alternativas ideal e anti ideal, a partir dos valores máximos e mínimos da tabela 4.8 para cada critério. Uma vez que todos os critérios avaliados são critérios de benefício, a alternativa ideal (tabela 4.10) é determinada pela seleção do valor máximo de cada critério e a alternativa anti ideal (tabela 4.11) é determinada ao selecionar o valor mínimo de cada critério, da tabela 4.8.

Tabela 4.10: Alternativa ideal, f_i^* (Fuzzy-VIKOR).

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
f_i^*	0.715	0.657	0.755	0.729	0.637	0.727	0.725	0.632	0.742

Tabela 4.11: Alternativa anti-ideal, f_i^- (Fuzzy-VIKOR).

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
f_i^-	0.315	0.169	0.239	0.250	0.169	0.352	0.221	0.257	0.336

Neste método, a ordenação das alternativas requer o cálculo dos valores S, R e Q para cada uma das alternativas, conforme descrito no capítulo 2, secção 2.5.3. Para o cálculo desses valores, é importante recordar que os pesos dos critérios são dados pelo vetor de pesos $W_c=(0.217, 0.022, 0.054, 0.076, 0.120, 0.152, 0.033, 0.141, 0.185)$, como apresentados na tabela 4.3 deste capítulo. A tabela 4.12 mostra os resultados obtidos.

Tabela 4.12: Valores de máxima utilidade (S), mínimo desacordo (R) e proximidade relativa (Q) para cada uma das alternativas no método *Fuzzy* VIKOR.

	S	R	Q	Posição
a_1	0.346	0.120	0.288	3
a_2	0.569	0.217	0.835	9
a_3	0.204	0.114	0.137	1
a_4	0.479	0.193	0.668	6
a_5	0.662	0.155	0.700	8
a_6	0.460	0.074	0.234	2
a_7	0.501	0.189	0.671	7
a_8	0.314	0.176	0.455	4
a_9	0.750	0.212	0.979	10
a_{10}	0.470	0.195	0.665	5

O método *Fuzzy*-VIKOR permite construir também uma ordenação baseada em soluções de compromisso, cada vez que as condições de vantagem aceitável (C1) e estabilidade aceitável (C2) não se verificarem. Assim sendo, diz-se que uma determinada alternativa a tem uma "vantagem aceitável" sobre as restantes alternativas se, quando comparada com a alternativa imediatamente posterior, a' , for verificado que:

$$Q(a') - Q(a) \geq DQ, \quad DQ = \frac{1}{m-1} \quad (4.1)$$

No presente estudo, $DQ = 0.111$. No caso da não verificação da condição 4.1, devem ser recomendadas como soluções de compromisso, as alternativas a , a' e a^k , sendo esta última, a alternativa que cumpre a condição $Q(a') - Q(a) < DQ$, para o maior valor de k .

No que diz a respeito à condição de estabilidade aceitável (C2), diz-se que uma alternativa tem estabilidade sempre que esteja na mesma posição na lista ordenada por Q e numa das listas ordenadas por R e/ou S. Caso apenas a condição C2 não seja cumprida, serão apenas recomendadas como soluções de compromisso, a alternativa para a qual a condição não é cumprida e a imediatamente posterior. A tabela 4.13 apresenta a ordenação de acordo com as soluções de compromisso.

Tabela 4.13: Ordenação com soluções de compromisso.

	Q	Vantagem Aceitável	Estabilidade Aceitável	Posição
a_3	0.137	×	✓	1
a_6	0.234	×	×	1
a_1	0.288	✓	✓	2
a_8	0.455	✓	×	3
a_{10}	0.665	×	✓	3
a_4	0.668	×	✓	4
a_7	0.671	×	✓	4
a_5	0.700	✓	×	4
a_2	0.835	✓	×	5
a_9	0.979	-	✓	5

4.2 Aplicação da abordagem *non-Fuzzy*

Na abordagem *non-Fuzzy*, é utilizada uma escala de avaliação quantitativa de 0 a 100 pontos para cada critério. De salientar um ponto assente na aplicação desta abordagem:

- As 6 matrizes de decisão individuais são geradas aleatoriamente, mas com base nas classificações atribuídas aquando da aplicação da abordagem *Fuzzy*. Assim, todas as classificações atribuídas com Muito Mau (MM) na abordagem *fuzzy*, serão convertidas em classificações aleatórias contidas no intervalo $[0, 14.29]$; com Mau (M) estarão contidas no intervalo $[14.30, 28.57]$; Razoavelmente Mau (RM) no intervalo $[28.58, 42.86]$; Médio (ME) em $[42.87, 57.14]$; Razoavelmente Bom (RB) no intervalo $[57.15, 71.43]$; Bom (B) em $[71.44, 85.71]$ e por fim, Muito Bom (MB) compreendido no intervalo $[85.72, 100]$.

Por exemplo, observe-se a classificação atribuída, pelo ator RS, à alternativa a_1 em relação ao critério AT (Tabela 4.5). Na abordagem *fuzzy* obteve a classificação de Bom (B), o que correspondeu, efetivamente, ao valor 71.53 na abordagem *non-fuzzy*, valor esse que está compreendido no intervalo estipulado para a classificação Bom (B).

As matrizes de decisão individuais correspondentes à avaliação dos atores, são dadas pelas tabelas II.1 a II.5, na secção II. A matriz de decisão do ator RS, apresenta-se na tabela 4.14.

Tabela 4.14: Matriz de avaliação do ator RS.

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a_1	71.53	84.95	98.95	56.29	1.88	64.53	53.23	0.27	52.35
a_2	15.05	52.67	36.33	28.17	48.87	76	60.78	22.67	59.75
a_3	96.68	29.92	81.98	82.19	51.77	80.43	72.55	20.71	1.16
a_4	21.88	32.31	9.82	66.42	63.67	77.87	8.15	22.36	98.25
a_5	56.37	30.46	37.34	15.41	68.11	58.3	34.51	65.86	7.69
a_6	91.32	65.7	45.97	1.43	31.56	63.34	58.32	60.9	72.18
a_7	22.68	92.38	20.19	42.61	19.72	84.89	34.9	17.86	66.76
a_8	46.81	64.28	59.33	78.12	86.72	75.58	56.81	76.5	97.21
a_9	13.24	50.26	22.64	45.14	78.22	39.16	43.74	61.02	40.97
a_{10}	0.86	97.07	90.26	0.04	85.39	5.1	61.32	45.5	58.17

Recorrendo à expressão 3.1, presente na secção 3.5 do capítulo 3 obtém-se a "super"matriz de decisão. Esta matriz agrega as avaliações de cada ator (tabela 4.15).

Tabela 4.15: Matriz de decisão agregadora das matrizes individuais dos atores.

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a_1	68.14	56.69	78.42	36.74	13.94	64.35	48.28	52.31	57.33
a_2	28.51	16.57	39.53	35.02	60.61	72.15	71.45	27.76	54.88
a_3	71.04	33.58	63.87	74.22	52.25	68.42	57.59	62.35	47.22
a_4	38.58	43.54	46.11	57.44	55.10	59.17	23.75	44.36	67.97
a_5	46.82	49.61	57.92	22.70	44.82	42.01	29.04	41.33	46.28
a_6	58.13	30.59	32.60	30.66	38.08	52.60	59.37	47.88	57.32
a_7	39.42	64.84	43.79	39.24	41.80	65.66	32.68	37.08	72.90
a_8	37.16	41.92	73.10	70.52	48.11	60.03	59.07	59.14	68.42
a_9	35.65	57.24	26.43	59.32	36.63	36.49	41.84	48.93	34.03
a_{10}	30.73	44.32	72.91	30.40	56.92	51.62	42.18	53.23	66.29

Recolhidos todos os dados necessários do agente de decisão e dos atores, é aplicado um método para a ordenação das alternativas. Nesta abordagem, será utilizado o método VIKOR, conforme secção 3.6.

Nesta fase, procede-se ao cálculo das alternativas ideal (tabela 4.16) e anti-ideal (tabela 4.17) através da determinação dos máximos e dos mínimos da matriz 4.15, para cada critério.

Tabela 4.16: Alternativa ideal, f_i^* (VIKOR).

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
f_i^*	71.04	64.84	78.42	74.22	60.61	72.15	71.45	62.35	72.90

Tabela 4.17: Alternativa anti-ideal, f_i^- (VIKOR).

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
f_i^-	28.51	16.57	26.43	22.70	13.94	36.49	23.75	27.76	34.03

Posteriormente, os valores S, R e Q são determinados no sentido de produzir a ordenação final das alternativas. A posição das alternativas é determinada com base no valor de Q (proximidade relativa), ou seja, quanto mais próximo de 0 (zero) for o valor Q, melhor é a posição da alternativa no *ranking* final das alternativas.

Tal como na secção anterior, o método VIKOR permite ainda construir uma ordenação baseada em soluções de compromisso, sempre que as condições de vantagem aceitável

Tabela 4.18: Valores de máxima utilidade (S), mínimo desacordo (R) e proximidade relativa (Q) para cada uma das alternativas (VIKOR).

	S	R	Q	Posição
a_1	0.358	0.120	0.284	3
a_2	0.565	0.217	0.842	9
a_3	0.198	0.122	0.144	1
a_4	0.433	0.166	0.527	5
a_5	0.639	0.129	0.580	7
a_6	0.476	0.083	0.259	2
a_7	0.455	0.162	0.532	6
a_8	0.321	0.173	0.450	4
a_9	0.734	0.185	0.878	10
a_{10}	0.472	0.206	0.713	8

(C1) e de estabilidade aceitável (C2) não se verificarem. Tomando, exatamente, o mesmo procedimento da secção 4.1 para a determinação das soluções de compromisso, a tabela 4.19 apresenta os resultados obtidos para o método VIKOR.

Tabela 4.19: Ordenação com soluções de compromisso (VIKOR).

	Q	Vantagem Aceitável	Estabilidade Aceitável	Posição
a_3	0.144	✓	✓	1
a_6	0.259	×	×	1
a_1	0.284	✓	✓	2
a_8	0.450	×	×	2
a_4	0.527	×	×	2
a_7	0.532	×	×	2
a_5	0.580	✓	×	3
a_{10}	0.713	×	×	4
a_2	0.842	×	×	4
a_9	0.878	-	✓	5

4.3 Discussão e comparação dos resultados das abordagens *Fuzzy e non-Fuzzy*

Antes de proceder à análise custo-benefício, passemos à comparação entre os dois métodos aplicados *Fuzzy*-VIKOR e VIKOR. No presente caso de estudo, o resultado dos dois métodos originou ordenações de alternativas diferentes, como se pode observar no gráfico da figura 4.4. Embora em ambos os métodos, as posições correspondentes às alternativas a_3 , a_6 , a_1 , a_8 , a_2 e a_9 terem permanecido iguais, as alternativas a_{10} , a_4 , a_7 e a_5 sofreram alterações no *ranking* final. A alteração mais significativa observa-se na posição da alternativa a_{10} , que ocupa a quinta posição no método *fuzzy*, mas desceu três posições no método VIKOR. As restantes alterações observam-se nas alternativas a_4 , a_7 e a_5 . Qualquer uma destas subiu uma posição no método non-*fuzzy*, em relação ao *ranking* obtido na metodologia *fuzzy*.

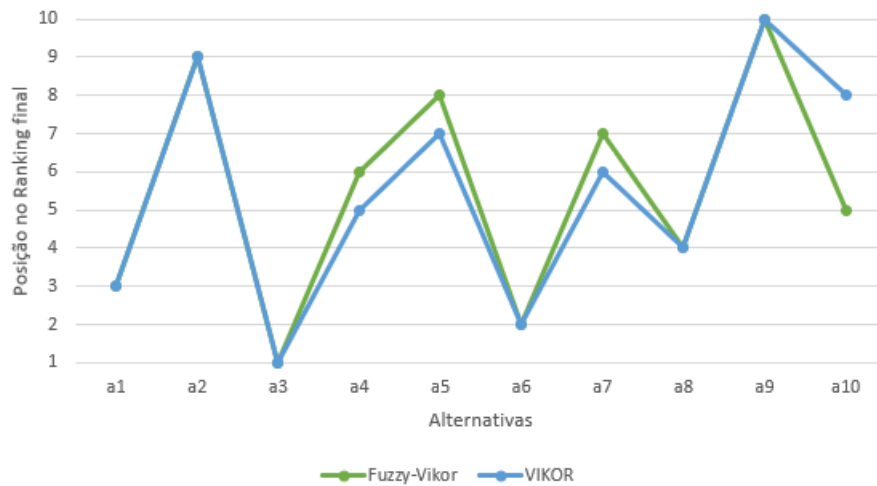


Figura 4.4: Comparação entre as ordenações de alternativas obtidas para os métodos *Fuzzy*-VIKOR e VIKOR.

Para que se compreenda, efetivamente, as alterações existentes nos dois *rankings*, será feita uma análise detalhada à escala aplicada no passo da avaliação, nomeadamente no método non-*fuzzy* (VIKOR). Como foi referido no capítulo 3.5, a escala utilizada na abordagem non-*fuzzy* dependeu das classificações atribuídas por meio de variáveis linguísticas estabelecidas na abordagem *fuzzy*. O objetivo da utilização dessa escala é o de perceber até que ponto a ordenação obtida, através da abordagem *fuzzy*, era tão ou mais robusta, comparando-a com a ordenação estabelecida na abordagem non-*fuzzy*. Assim sendo, a finalidade desta análise passa por compreender a importância da utilização da metodologia *fuzzy* no apoio à decisão da aquisição e, ao fim e ao cabo, estudar a utilidade da mesma, quando comparada com o VIKOR (abordagem non-*fuzzy*).

Será que, ao fazermos variar a escala aplicada no método VIKOR, as ordenações finais de ambas as abordagens, tornar-se-ão similares? Justificar-se-à a integração da metodologia *fuzzy* no modelo de apoio à aquisição de equipamentos?

4.3.1 Fuzzy ou non-fuzzy?

Passemos à análise e discussão da escala utilizada aquando da aplicação da abordagem non-fuzzy (VIKOR) na fase da avaliação de alternativas (secção 3.5 do capítulo 3). Tendo como intuito a comparação da robustez da ordenação obtida no método non-fuzzy VIKOR, foram aplicadas três escalas distintas à metodologia VIKOR, para que numa fase final da análise seja possível destacar-se o melhor método a aplicar, dos dois aplicados neste trabalho. Assim, para além das duas escalas aplicadas (nos métodos *fuzzy* e non-fuzzy VIKOR) foram aplicadas três escalas apresentadas na tabela 4.20. A primeira, designada por VIKOR (Limiar inferior do intervalo) que se refere ao valor mínimo do intervalo estabelecido para cada classificação no método non-fuzzy VIKOR. Por exemplo, a classificação atribuída pelo ator RS à alternativa a_1 em relação critério AT foi Bom (na metodologia *fuzzy* VIKOR) e correspondeu ao valor 71.53 no método non-fuzzy VIKOR. Portanto, na escala VIKOR (Limiar inferior do intervalo) corresponderá ao valor 71.44.

O mesmo raciocínio é aplicado na escala VIKOR (Limiar superior do intervalo), sendo que, neste caso serão utilizados os valores superiores de cada intervalo definido em non-fuzzy VIKOR. Utilizando o mesmo exemplo referido acima, nesta escala a classificação que correspondeu à classificação Bom (B), corresponderá, portanto, ao valor 85.71.

A terceira e última escala utilizada para testar as metodologias empregues ao estudo da aquisição é denominada por VIKOR (Nova Escala). Esta escala foi criada de forma criteriosa, de modo a que as classificações como Muito Bom (MB) e Muito Mau (MM) correspondessem a um intervalo de valores mais preciso em relação aos restantes. Assim, classificações menos precisas como Razoavelmente Mau (RM), Médio (ME) e Razoavelmente Bom (RB) correspondem a um maior intervalo de valores.

As quatro escalas aplicadas encontram-se resumidas na tabela 4.20.

Tabela 4.20: As diferentes escalas utilizadas neste estudo: as duas primeiras utilizadas no avaliação de alternativas, quer pelo método *fuzzy*-VIKOR, quer pelo método non-fuzzy VIKOR e as restantes utilizadas para testar a escala utilizada no método non-fuzzy VIKOR.

Fuzzy VIKOR	non-fuzzy VIKOR	VIKOR (Limiar inferior do intervalo)	VIKOR (Limiar superior do intervalo)	VIKOR (Nova Escala)
MM	[0, 14.29]	0	14.29	{0, 1}
M	[14.30, 28.57]	14.30	28.57	[2, 12]
RM	[28.58, 42.86]	28.58	42.86	[13, 30]
ME	[42.87, 57.14]	42.87	57.14	[31, 69]
RB	[57.15, 71.43]	57.15	71.43	[70, 87]
B	[71.44, 85.71]	71.44	85.71	[88, 98]
MB	[85.72, 100]	85.72	100	[99, 100]
Escalas utilizadas no estudo		Escalas utilizadas para discussão de resultados		

Com base nos resultados apresentados na tabela 4.21, que dizem respeito aos coeficientes de S, R e Q e ao respetivo *ranking* final das alternativas, observamos que os valores obtidos nas escalas VIKOR (Limiar inferior do intervalo) e VIKOR (Limiar superior do intervalo) são idênticos, o que corresponde ao esperado, visto que o *ranking* final produzido pela metodologia VIKOR baseia-se numa medida de proximidade à solução ideal. Como

4.3. DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ABORDAGENS FUZZY E NON-FUZZY

Tabela 4.21: Resultados obtidos para os coeficientes S, R e Q aquando da aplicação das escalas VIKOR (Limiar inferior do intervalo), VIKOR (Limiar superior do intervalo) e VIKOR (Nova Escala).

Alternativas	VIKOR (Limiar inferior do intervalo)				VIKOR (Limiar superior do intervalo)				VIKOR (Nova Escala)			
	S	R	Q ($v=0,5$)	Ranking final	S	R	Q ($v=0,5$)	Ranking final	S	R	Q ($v=0,5$)	Ranking final
a_1	0.349	0.120	0.291	3	0.349	0.120	0.291	3	0.762	0.185	0.870	10
a_2	0.569	0.217	0.831	9	0.569	0.217	0.831	9	0.580	0.168	0.585	7
a_3	0.200	0.116	0.145	1	0.200	0.116	0.145	1	0.587	0.192	0.689	8
a_4	0.478	0.193	0.662	5	0.478	0.193	0.662	5	0.489	0.139	0.363	4
a_5	0.669	0.154	0.699	8	0.669	0.154	0.700	8	0.465	0.169	0.452	5
a_6	0.461	0.075	0.234	2	0.461	0.075	0.234	2	0.636	0.217	0.850	9
a_7	0.500	0.189	0.669	6	0.500	0.189	0.669	6	0.388	0.092	0.052	1
a_8	0.313	0.175	0.454	4	0.313	0.175	0.454	4	0.564	0.160	0.533	6
a_9	0.758	0.217	1.000	10	0.758	0.217	1.000	10	0.371	0.114	0.123	3
a_{10}	0.476	0.200	0.687	7	0.476	0.200	0.687	7	0.344	0.116	0.098	2

os intervalos que constituem a escala aplicada na metodologia VIKOR (non-fuzzy) foram definidos com base na divisão equitativa pelas 7 variáveis estabelecidas na metodologia fuzzy-VIKOR, então qualquer avaliação atribuída a uma determinada alternativa quer pela escala VIKOR (Limiar inferior do intervalo), quer pela escala VIKOR (Limiar superior do intervalo) terá exatamente a mesma proximidade à solução ideal e por consequência, o mesmo *ranking* final. Comparando o *ranking* obtido nessas escalas, com o ranking obtido com a escala non-fuzzy VIKOR observamos que apenas as posições das alternativas a_{10} e a_5 se alteraram uma posição e as restantes permaneceram nas mesmas posições dos *rankings* finais. Em relação à ordenação produzida pelo método Fuzzy-VIKOR, concluímos que as alternativas que ocupam as posições 1, 2, 3, 4, 8, 9 e 10 permaneceram inalteradas, quando comparadas com as ordenações obtidas por VIKOR (Limiar inferior do intervalo) e VIKOR (Limiar superior do intervalo) sendo que as restantes posições, 5, 6 e 7 foram ocupadas pelas alternativas a_{10} , a_4 e a_7 com ordem de posicionamento distinta nos três métodos mencionados. Em suma, o método VIKOR (Fuzzy e non-fuzzy) produziu dois rankings distintos, mas pode-se constatar que o top 4 e as duas últimas posições dos dois *rankings* do estudo mantiveram-se inalteradas nos dois casos. As escalas VIKOR (Limiar inferior do intervalo) e VIKOR (Limiar superior do intervalo) produziram dois *rankings* equivalentes, mas quando comparados com o método non-fuzzy VIKOR, observou-se uma diferença no posicionamento de duas alternativas.

Observando, por fim, os resultados obtidos aquando da aplicação da escala VIKOR (Nova Escala), concluímos que, de facto, se estabelecermos intervalos mais precisos e criteriosos, tendo em conta a classificação a atribuir, obtém-se uma ordenação final bastante dissemelhante, em relação às restantes ordenações.

Face a estes resultados, concluiu-se que para a implementação deste modelo, recomenda-se que seja utilizada a abordagem Fuzzy-VIKOR como método para a ordenação das alternativas. Não tendo-se conseguir obter uma conclusão precisa, depois de aplicadas as várias escalas consideradas no estudo, pensa-se que a metodologia fuzzy produzirá um resultado mais confiável, uma vez que permitirá a qualquer entidade Hospitalar ter um grau de confiança elevado na ordenação produzida, tendo em conta o grande pressuposto da

implementação desta metodologia que é o de apreender a avaliação humana da incerteza e subjetividade, incorporando informações incompletas e não quantificáveis em modelos de apoio à decisão. No entanto, esta conclusão carece de mais evidência, nomeadamente através da aplicação da metodologia a um caso real.

4.3.2 Análise de Custo-Benefício

O último passo na aplicação da metodologia é a análise de custo-benefício. Esta análise permite auxiliar o agente de decisão a escolher um portfólio, ou seja, o conjunto de equipamentos a adquirir, de acordo com os recursos disponíveis, tendo em conta o *ranking* final obtido. Tendo-se determinado que o método *Fuzzy-VIKOR* é aquele que oferece resultados mais robustos, é apenas calculado o custo-benefício tendo por base os benefícios obtidos por meio da utilização do mesmo. Assim sendo, tal como mencionado no capítulo 3, subsecção 3.7 o resultado desta análise é obtida por meio da resolução do problema matemático *Knapsack*, que maximiza o benefício sem exceder o orçamento disponível. Este problema matemático apresenta-se seguidamente:

Maximizar:

$$\sum_{j=1}^m P_j X_j \quad (4.2)$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m C_j X_j \leq B \quad (4.3)$$

$$X_1 + X_3 \leq 1 \quad (4.4)$$

$$X_2 + X_9 \leq 1 \quad (4.5)$$

$$X_4 + X_7 \leq 1 \quad (4.6)$$

$$X_5 + X_{10} \leq 1 \quad (4.7)$$

$$X_6 + X_8 \leq 1 \quad (4.8)$$

$$X_j \in \{0, 1\}, j = 1, \dots, t$$

As restrições do problema matemático, apresentadas pelas expressões (4.4), (4.5), (4.6), (4.7) e (4.8) são expostas para que se obtenha um conjunto de equipamentos, de entre os considerados no estudo, que não sejam similares entre si. Como já foi referido, as alternativas consideradas neste trabalho incluem um conjunto de 10 equipamentos médicos: 2 equipamentos de tomografia computadorizada (correspondentes às alternativas a_1 e a_3), 2 equipamentos de Ressonância Magnética (que dizem respeito às alternativas a_2 e a_9), 2 equipamentos de Raio-X (correspondentes às alternativas a_4 e a_7), 2 equipamentos de Mamografia (que se referem às alternativas a_6 e a_8) e 2 equipamentos de Ecografia (alternativas a_5 e a_{10}). O problema de *Knapsack* tem como objetivo selecionar um portfólio

de equipamentos a comprar tendo em conta o benefício calculado para cada uma das alternativas (cujos valores P_j correspondem à coluna 4 da tabela 4.12), o conjunto de equipamentos considerados e os seus respetivos custos e o orçamento disponível B.

Neste trabalho, o orçamento disponível B (€) representa um valor hipotético. Assim sendo, foi considerado, neste caso de estudo, um orçamento $B = 2000000$. Desta forma, obteve-se os seguintes seguintes portfólios eficientes para o problema em questão:

1. $\{ a_3 \}$
2. $\{ a_3; a_6 \}$
3. $\{ a_3; a_6; a_{10} \}$
4. $\{ a_3; a_4; a_6; a_{10} \}$

De salientar que os portfólios 1., 2. e 3. são soluções possíveis, mas não maximizam a função objetivo. A solução ótima e única, neste caso de estudo, é a 4. No entanto, neste trabalho, a decisão final sobre qual o portfólio a escolher será, inteiramente, da responsabilidade do super agente de decisão.

CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

As Unidades Hospitalares necessitam de criar e desenvolver metodologias de gestão da tecnologia médica, para identificar as suas prioridades e objetivos, por forma a garantir a segurança dos utente, a qualidade e eficácia nos procedimentos médicos.

A aquisição de equipamentos médicos hospitalares constitui uma das mais dispendiosas parcelas dos hospitais. No que toca ao SNS, os equipamentos médicos de Radiodiagnóstico, por serem utilizados pelas diversas áreas hospitalares, têm uma elevada utilização, conduzindo muitas vezes a longas filas de espera, sendo por isso, necessário implementar programas que auxiliem o SNS a gerir os seus recursos, não só devido ao esforço acrescido dos Hospitais em relação à utilização do serviço de Radiologia, como também pelos contínuo acréscimo dos custos e dos tempos de espera.

A motivação da presente dissertação surge com o pressuposto de auxiliar a gestão dos hospitais a determinar um plano de investimento, tendo por base os recursos financeiros e as necessidades para a prestação dos serviços contratados.

Neste sentido, foi feita uma análise das metodologias multicritério, com recurso a fontes bibliográficas que permitissem a construção de um modelo sustentado do ponto de vista teórico. No modelo foram incorporados todos os temas de interesse encontrados, envolvidos na problemática da aquisição de equipamentos médicos, desde administrativos, técnicos e financeiros. Estes temas, que permitiram a determinação de um conjunto de critérios a aplicar nesta metodologia, foram discutidos e, posteriormente, validados junto de um Administrador Hospitalar de um Hospital de Lisboa, o "super"agente de decisão considerado nesta metodologia.

O processo de decisão envolveu diferentes etapas na sua estrutura. Após definição e determinação dos critérios a considerar nesta ferramenta, com o suporte e apoio do Administrador Hospitalar, foram definidos os seis atores de decisão, assim como os seus

pesos de importância em relação a cada um dos critérios. Cada um dos pesos foi determinado com base na técnica *Swing Weights*, pelo "super"agente de decisão. O mesmo procedimento foi aplicado no cálculo dos pesos dos critérios. Recorrendo-se à mesma técnica de Ponderação (*Swing Weights*), foi determinada a importância de cada um dos critérios, do ponto de vista de cada ator.

Dada por concluída a fase de ponderação, foi aplicado um método multicritério compensatório e de compromisso, VIKOR, seguindo duas abordagens distintas, designadas por: *Fuzzy VIKOR* e *Non-Fuzzy VIKOR*. O desenvolvimento desta metodologia, tendo por base duas abordagens distintas constitui uma inovação na bibliografia existente, no que diz respeito a modelos de tomada de decisão, na problemática da aquisição de equipamentos médicos.

A metodologia VIKOR, num ambiente *fuzzy* (*Fuzzy VIKOR*) foi aplicada, tendo por base sete variáveis linguísticas convertidas, posteriormente, em números *fuzzy* trapezoidais. A construção da escala utilizada foi baseada na literatura existente e testada, posteriormente, aplicando novas escalas definidas pelo autor com o objetivo de analisar a robustez das ordenações finais produzidas pela metodologia *fuzzy*.

De forma a produzir-se um estudo fundamentado no que toca à abordagem *fuzzy*, foi criada a abordagem *non-fuzzy*, *non-fuzzy VIKOR*. Esta abordagem foi aplicada seguindo uma lógica semelhante à utilizada na abordagem *fuzzy*: foram criados sete intervalos, divididos equitativamente de uma escala de 0 a 100, que diziam respeito às sete variáveis criadas no ambiente *fuzzy*. Assim, foi possível proceder-se a uma comparação entre as ordenações produzidas nos ambientes *fuzzy* e *non-fuzzy*.

Foram obtidas ordenações finais para ambas as abordagens revelando-se distintas no seu resultado final. Posteriormente, procedeu-se à análise da escala aplicada, aquando da aplicação da abordagem *non-fuzzy*. Foram criadas três escalas adicionais para que complementassem a discussão dos resultados obtidos.

Os resultados obtidos permitiram entender que ambas as metodologias produziram ordenações, onde o top 4 e as duas últimas posições dos *rankings* permaneciam inalteradas, isto é, coincidentes em ambas as metodologias. Porém, constatou-se que, se se proceder a uma variação da escala a aplicar, no caso da metodologia *non-fuzzy VIKOR*, o *ranking* final produzido é totalmente distinto, quando comparado com a ordenação obtida, tanto para *Fuzzy VIKOR*, como para a *non fuzzy VIKOR*. Por este motivo, recomendou-se a utilização da metodologia *fuzzy VIKOR*, como método para ordenação de alternativas, por ter sido considerado mais confiável e pelas vantagens que o próprio método possui: apreender a avaliação humana da incerteza e subjetividade, fazendo uso da linguagem natural humana no processo de avaliação. Para além disso, esta metodologia promove um processo de decisão mais célere e fácil para a maioria dos agentes de decisão.

Não tendo sido possível aplicar esta metodologia em contexto real, os modelos construídos foram testados considerando 6 atores hipotéticos modelados por 6 matrizes de decisão aleatórias. As ordenações finais foram produzidas para um grupo de 10 alternativas fictícias.

Por fim, foi realizada uma análise de custo-benefício para os equipamentos médicos propostos, tendo por base as ordenações obtidas pela metodologia *Fuzzy VIKOR*. Esta análise baseia-se na resolução de um problema conhecido por *Knapsack Problem* que incorpora os custos de cada equipamento, as posições de cada equipamento no *ranking* final e o orçamento disponibilizado pela entidade hospitalar, sendo neste caso, um orçamento hipotético.

Apesar da metodologia ter sido concebida para os equipamentos médicos de radiodiagnóstico, pode-se garantir a sua aplicabilidade a outros Centros Hospitalares, assim como a outros equipamentos médicos.

Face aos dados apresentados, conclui-se que se atingiram os objetivos propostos no início da realização desta tese de mestrado, isto é, conseguiu-se criar um modelo multicritério que permite apoiar a decisão de aquisição de equipamentos médicos hospitalares, no caso dos equipamentos de Radiodiagnóstico.

Para trabalho futuro fazem-se as seguintes considerações:

1. Aplicação da metodologia num caso de estudo real. Um caso de estudo real pressupõe: a integração de atores de decisão reais, a realização de conferências de decisão durante o desenvolvimento de todas as etapas da metodologia, pois é a partir do envolvimento direto e da partilha de conhecimento entre todos os agentes de decisão que se conseguem construir boas ferramentas de apoio à gestão [12].
2. Aplicação do modelo a outras problemáticas relacionados com os equipamentos médicos, nomeadamente à sua substituição e manutenção.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Y. David, B. E. Consultants e E. G. Jahnke, “Planning hospital medical technology management”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 2004. DOI: 10.1109/MEMB.2004.1317985.
- [2] A. S. Cindy Brach, Nancy Lenfestey, Amy Roussel, Jacqueline Amoozegar, “Will It Work Here? A Decisionmaker’s Guide to Adopting Innovations.”, *Agency for Healthcare Research and Quality*, vol. 8, 2008.
- [3] Y. David, B. E. Consultants e E. G. Jahnke, “Medical Technology Management: From Planning to Application”, em *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Shanghai, ISBN: 0780387406. DOI: 10.1109/IEMBS.2005.1616373.
- [4] A. V. Berumen e I. Lyon, “Innovative Technology in Addressing Global Health Issues: The WHO Perspective”, rel. téc., 2011.
- [5] A. Velazquez-berumen, “WHO Perspective on Health Technologies: Medical Imaging”, rel. téc., 2011, pp. 1–17.
- [6] C. Ferreira, *Framework para a aquisição de equipamentos médicos: o caso do Serviço de Radiologia do CHULC (Tese de Mestrado)*. 2018.
- [7] E. Afful-dadzie e S. Nabareseh, “Fuzzy Vikor approach: Evaluating Quality of Internet Health Information”, em *Computer Science and Information Systems*, vol. 2, Zlin, 2014, pp. 183–190, ISBN: 9788360810583. DOI: 10.15439/2014F203.
- [8] C. Kahraman, “Fuzzy Multicriteria Decision-Making : A Literature Review”, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, n.º May, 2015. DOI: 10.1080/18756891.2015.1046325.
- [9] T.-h. Chang e T.-c. Wang, “Using the fuzzy Multi-Criteria decision making approach for measuring the possibility of successful knowledge management”, *Information Sciences*, vol. 179, n.º 4, pp. 355–370, 2009, ISSN: 0020-0255. DOI: 10.1016/j.ins.2008.10.012. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2008.10.012>.
- [10] T.-h. Chang, “Fuzzy VIKOR method: A case study of the hospital service evaluation in Taiwan”, *Information Sciences*, vol. 271, pp. 196–212, 2014, ISSN: 0020-0255. DOI: 10.1016/j.ins.2014.02.118. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.02.118>.

- [11] H. Committee, “The Use of New Medical Technologies within the NHS”, London, rel. téc. April, 2005.
- [12] Lígia Figueiredo, *Modelo multicritério de apoio à substituição de equipamentos médicos hospitalares (Tese de Mestrado)*. 2009.
- [13] Infarmed, “Sistema Nacional de Avaliação de Tecnologias de Saúde para Portugal (Si-NATS) - Criar o futuro.”, pp. 1–88, 2014.
- [14] N. S. Khalil, “Comprehensive Frameworks for Decision Making Support in Medical Equipment”, tese de doutoramento, Faculty of Engineering, Cairo University, 2014. DOI: 10.6092/polito/porto/2579737.
- [15] S Vinodh, S Sarangan e S. C. Vinoth, “Application of fuzzy compromise solution method for fit concept selection”, *Applied Mathematical Modelling*, vol. 38, n.º 3, pp. 1052–1063, 2014, ISSN: 0307-904X. DOI: 10.1016/j.apm.2013.07.027. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2013.07.027>.
- [16] A. Sanayei, S. F. Mousavi e A Yazdankhah, “Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment”, *Expert Systems With Applications*, vol. 37, n.º 1, pp. 24–30, 2010, ISSN: 0957-4174. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.04.063. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.04.063>.
- [17] C.-t. Chen, C.-t. Lin e S.-f. Huang, “A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management”, *Journal of Production Economics*, vol. 102, pp. 289–301, 2006. DOI: 10.1016/j.jpe.2005.03.009.
- [18] G.-h. Tzeng, C.-w. Lin e S. Opricovic, “Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation”, *Energy Policy*, vol. 33, pp. 1373–1383, 2005. DOI: 10.1016/j.enpol.2003.12.014.
- [19] J. I. Drake, J. Carlos, T. D. Hart, C. Monleón e W. Toro, “Utilization of multiple-criteria decision analysis (MCDA) to support healthcare decision-making”, *Journal of Market Access & Health Policy*, vol. 5, n.º 1, 2014, ISSN: 000. DOI: 10.1080/20016689.2017.1360545. URL: <https://doi.org/10.1080/20016689.2017.1360545>.
- [20] G. A. Ma, V. Diaby e A. J. M. Mba, “Multicriteria decision analysis in oncology”, *Health Expectations*, vol. 18, pp. 1812–1826, 2014. DOI: 10.1111/hex.12178.
- [21] A. Pires e G. Martinho, *Sustainable Solid Waste Collection and Management*, Springer, ed. 2019, pp. 239–259, ISBN: 9783319931999. DOI: 10.1007/978-3-319-9320-2.
- [22] S. Cadete, *A Comparação de duas Metodologias de Métodos Multicritério de análise de decisão num contexto de opções públicas (Tese de Mestrado)*. 2011.

- [23] P. Thokala, N. Devlin, K. Marsh, R. Baltussen, M. Boysen, Z. Kalo, T. Longrenn e F. Mussen, “Multiple Criteria Decision Analysis for Health Care Decision Making — An Introduction: Report 1 of the ISPOR MCDA Emerging Good Practices Task Force”, *Value in Health*, vol. 19, n.º 1, pp. 1–13, 2016, ISSN: 1098-3015. DOI: 10.1016/j.jval.2015.12.003. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jval.2015.12.003>.
- [24] João C. Lourenço, “Modelo aditivo hierárquico: exemplos de métodos de ponderação e problemas associados”, Lisboa, 2002.
- [25] D. Tiesmeier, “MCDM Problem-Structuring Framework and a Real Estate Decision Support Model”, tese de doutoramento, Alliance Manchester Business School, 2016.
- [26] G. Goodwin, P., *Decision Analysis for Management Judgment*, Third Edit, L. John Wiley & Sons, ed. Chichester, 2009, ISBN: 0470861088.
- [27] M. Velasquez e P. T. Hester, “An analysis of multi-criteria decision making methods An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods”, *International Journal of Operational Research*, vol. 10, n.º 2, pp. 56–66, 2013.
- [28] R. M. Alguliyev, R. M. Aliguliyev e R. S. Mahmudova, “Multicriteria Personnel Selection by the Modified Fuzzy VIKOR Method”, *The Scientific World Journal*, vol. 2015, 2015. DOI: 10.1155/2015/612767.
- [29] M. Gul, E. Celik, N. Aydin, A. Taskin e A. Fuat, “A state of the art literature review of VIKOR and its fuzzy extensions on applications”, *Applied Soft Computing Journal*, vol. 46, pp. 60–89, 2016, ISSN: 1568-4946. DOI: 10.1016/j.asoc.2016.04.040. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2016.04.040>.
- [30] S. Opricovic, “Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS”, *Decision Aiding*, vol. 156, pp. 445–455, 2004. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00020-1.
- [31] Opricovic S., “Extended VIKOR method in comparison with outranking methods”, *European Journal of Operational Research*, vol. 178, pp. 514–529, 2007. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.01.020.
- [32] A. Jahan, F. Mustapha, Y. Ismail, S. M. Sapuan e M. Bahraminasab, “A comprehensive VIKOR method for material selection”, *Materials and Design*, vol. 32, n.º 3, pp. 1215–1221, 2011, ISSN: 0261-3069. DOI: 10.1016/j.matdes.2010.10.015. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2010.10.015>.
- [33] E. Shekarian, “A novel application of the VIKOR method for investigating the effect of education on housing choice”, *International Journal of Operational Research*, vol. 24, n.º January, 2015. DOI: 10.1504/IJOR.2015.071493.
- [34] R. E. Bellman e L. A. Zadeh, “Decision-making in a Fuzzy Environment”, Berkeley, rel. téc. Fuzzy Logic, 1970.

- [35] L. A. Zadeh, "Is there a need for fuzzy logic?", *Information Sciences*, vol. 178, pp. 2751–2779, 2008. DOI: 10.1016/j.ins.2008.02.012.
- [36] A. B. Mcbratney e I. O. A. Odeh, "Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions", *Geoderma*, vol. 77, n.º 1997, pp. 85–113, 2006.
- [37] R. Seising, *Views on Fuzzy Sets and Systems from Different Perspectives: Philosophy and Logic, Criticisms and Applications*, Springer, ed. 2009, ISBN: 978-3-540-93801-9.
- [38] V. Y. C. Chen, H.-p. Lien, C.-h. Liu, J. J. H. Liou, G.-h. Tzeng e L.-s. Yang, "Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan", *Applied Soft Computing Journal*, vol. 11, pp. 265–275, 2011. DOI: 10.1016/j.asoc.2009.11.017.
- [39] Y.-c. Kuo, S.-t. Lu, G.-h. Tzeng e Y.-c. Lin, "Using fuzzy integral approach to enhance site selection assessment a case study of the optoelectronics industry", *Procedia Computer Science*, vol. 17, pp. 306–313, 2013, ISSN: 1877-0509. DOI: 10.1016/j.procs.2013.05.040. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.040>.
- [40] B. Al-najjar e I. Alsayouf, "Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making", *International journal of production economics*, vol. 84, n.º Fuzzy MCDM, pp. 85–100, 2003. DOI: 10.1016/S0925-5273(02)00380-8.
- [41] S. Opricovic, "Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning", *Expert Systems With Applications*, vol. 38, n.º 10, pp. 12 983–12 990, 2011, ISSN: 0957-4174. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.04.097. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.097>.
- [42] T. Lupo, "A fuzzy framework to evaluate service quality in the healthcare industry: An empirical case of public hospital service evaluation in Sicily", *Applied Soft Computing Journal*, vol. 40, pp. 468–478, 2016, ISSN: 1568-4946. DOI: 10.1016/j.asoc.2015.12.010. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2015.12.010>.
- [43] J. C. Lourenço, C. A. Bana e A. Morton, "Software Packages for Multi-Criteria Resource Allocation", em *IEEE International Engineering Management Conference*, 2008, pp. 1–6.
- [44] L. Liimatainen, "Philips Healthcare: The purchasing process and decision-making choice criteria in public healthcare", tese de doutoramento, HAAGA-HELIA University of Applied Sciences, 2010.
- [45] S Taghipour, D Banjevic e A. K. S. Jardine, "Prioritization of medical equipment for maintenance decisions", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 62, n.º 9, pp. 1666–1687, 2011, ISSN: 0160-5682. DOI: 10.1057/jors.2010.106. URL: <http://dx.doi.org/10.1057/jors.2010.106>.

- [46] C. A. Kinley, "Healthcare Technology : A Strategic Approach to Medical Device Management", tese de doutoramento, East Tennessee State University, 2012.
- [47] K. Hanni, "Purchasing process and criteria for the emergency medical supplies market in Sweden", tese de doutoramento, Oulu University of Applied Sciences, 2015.



MATRIZES DE DECISÃO INDIVIDUAIS DOS ATORES RGSTI, RGIE, AH, DC E EC, PELA ABORDAGEM COM VARIÁVEIS QUALITATIVAS

Tabela I.1: Matriz de avaliação do ator RGSTI.

RGSTI	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a_1	M	RM	MB	MM	RM	ME	M	B	B
a_2	RB	M	B	M	RB	RM	M	M	ME
a_3	B	MM	RM	RB	RM	ME	MM	B	RB
a_4	RM	RB	MB	M	B	B	MM	RM	B
a_5	ME	ME	RB	M	MM	MM	RM	MM	ME
a_6	MM	MM	ME	ME	B	RM	MB	B	RB
a_7	B	MB	ME	MM	B	ME	ME	MM	B
a_8	M	B	MB	MB	RB	RM	MB	MB	MM
a_9	B	M	M	RB	MM	ME	MB	RB	MM
a_{10}	MM	RB	RM	RB	RB	MB	RB	B	MB

Tabela I.2: Matriz de avaliação do ator RGIE.

RGIE	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a_1	MB	B	MB	MM	MM	MB	ME	B	RB
a_2	M	MM	RM	ME	MB	RB	MB	RM	RB
a_3	RM	M	MB	RB	ME	MB	B	MB	RB
a_4	ME	RM	RB	RB	RB	ME	RB	RB	RM
a_5	M	B	ME	MM	ME	RB	MM	RB	RB
a_6	M	RM	MM	RB	RM	MM	M	MM	ME
a_7	RM	ME	M	ME	RM	B	MM	RM	MB
a_8	M	M	B	MM	MM	ME	MM	M	B
a_9	RM	MB	MM	MB	MM	MM	RM	M	ME
a_{10}	MB	M	B	ME	RM	B	MM	ME	MB

ANEXO I. MATRIZES DE DECISÃO INDIVIDUAIS DOS ATORES RGSTI, RGIE, AH, DC E EC, PELA ABORDAGEM COM VARIÁVEIS QUALITATIVAS

Tabela I.3: Matriz de avaliação do ator AH.

AH	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a_1	RB	M	RM	MB	RB	RB	RM	RB	B
a_2	RB	M	RM	RB	B	B	B	MM	ME
a_3	ME	MB	M	B	RM	ME	M	RB	RB
a_4	RB	M	ME	RB	MB	M	M	RB	RM
a_5	M	MB	MB	MB	RB	MM	M	M	ME
a_6	B	M	M	M	RB	RB	MB	RM	ME
a_7	RB	MB	MB	RB	MB	RM	MM	B	MB
a_8	RB	ME	MB	MB	RM	RB	RB	ME	MB
a_9	MB	ME	RM	RB	MM	ME	ME	RB	MM
a_{10}	MB	RM	ME	B	MM	MB	M	RM	RM

Tabela I.4: Matriz de avaliação do ator DC.

DC	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a_1	MM	ME	RM	RB	RM	MM	RB	ME	M
a_2	MM	MM	RB	RM	RM	B	MB	MB	ME
a_3	MB	MB	ME	B	RB	RM	RB	B	RB
a_4	M	RM	MB	ME	MM	RB	RB	MM	MB
a_5	RB	MM	ME	B	M	RB	M	RB	B
a_6	MB	RB	MM	RB	RM	M	MM	RM	ME
a_7	ME	RM	RM	ME	ME	B	B	B	ME
a_8	MB	RM	RB	M	ME	RM	B	RM	MM
a_9	RM	RM	MM	MB	M	M	MM	MM	RB
a_{10}	B	M	B	MM	ME	RM	M	RM	MB

Tabela I.5: Matriz de avaliação do ator EC.

EC	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a_1	B	MM	ME	M	M	RM	B	RM	MB
a_2	RB	RM	M	MM	MB	ME	ME	B	MB
a_3	M	MB	RB	RB	M	RB	RM	B	RM
a_4	MB	RB	M	ME	MB	MB	RB	M	RB
a_5	MB	M	M	RM	MM	ME	M	MM	MM
a_6	RM	M	MB	MB	ME	B	MM	RB	M
a_7	RM	ME	M	RB	MB	MM	B	MB	B
a_8	M	MM	M	MB	RB	M	M	RM	ME
a_9	RM	MB	B	MM	MB	MM	RM	RM	RB
a_{10}	MM	B	MB	M	ME	MB	MM	ME	B



MATRIZES DE DECISÃO INDIVIDUAIS DOS ATORES RGSTI, RGIE, AH, DC E EC PELA ABORDAGEM COM VARIÁVEIS QUANTITATIVAS

Tabela II.1: Matriz de avaliação do ator RGSTI.

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a1	16.45	41.25	88.99	1.12	35.53	50.09	27.72	75.62	83.28
a2	63.68	14.38	76.33	18.52	63.87	35.7	18.65	22.56	44.12
a3	76.23	10.49	38.37	62.55	33.66	44.29	4.87	78.1	65.11
a4	38.08	60.71	97.86	23.68	82.5	80.13	7.31	38.59	72.22
a5	51.31	47.3	66.26	19.52	5.91	8.6	39.39	10.24	44.33
a6	5.46	5.65	48.23	44.54	73.58	36.58	90.41	78.92	67.34
a7	84.23	96.65	56.93	7.87	84.1	56.63	48.15	2.04	77.98
a8	21.41	74.25	88.66	98.66	70.65	36.89	91.83	96.8	14.06
a9	77.35	20.02	24.16	60.14	6.21	47.87	96.81	68.91	0.94
a10	7.19	67.88	28.71	61.97	61.93	88.87	68.59	82.27	97.43

Tabela II.2: Matriz de avaliação do ator RGIE.

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a1	98.18	72.52	93.59	13.95	4.06	85.85	43.59	77.5	61.05
a2	21.61	14.11	37.82	56.33	87.43	66.59	89.07	33.65	62.3
a3	29.88	23.88	88.4	70.69	56.28	88.91	76.88	94.19	58.42
a4	56.7	33.61	69.52	71.14	63.1	51.14	64.68	62.31	34.88
a5	18.81	77.74	51.07	7.91	47.87	63.69	5.44	67.88	63.28
a6	17.46	29.75	6.6	64.83	35.77	12.11	24.69	13.95	55.72
a7	38.51	44.05	24.91	50.89	41.77	85.3	4.6	29.73	96.16
a8	17.69	15.34	80.97	13.24	0.08	44.72	13.47	16.51	81.63
a9	41.24	96.21	6.62	95.14	0.26	12.23	39.23	14.4	50.94
a10	87.23	15.83	83.36	45.2	33.11	77.03	10.24	52.71	93.21

ANEXO II. MATRIZES DE DECISÃO INDIVIDUAIS DOS ATORES RGSTI, RGIE, AH, DC E EC PELA ABORDAGEM COM VARIÁVEIS QUANTITATIVAS

Tabela II.3: Matriz de avaliação do ator AH.

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a1	60.63	25.09	40.54	86.99	68.64	68.01	28.93	68.66	77.49
a2	57.73	18.94	33.18	70.18	75.36	83.38	82.52	12.4	55.83
a3	48.12	91.84	25.78	80.74	41.45	49.86	28.23	61.31	62.47
a4	59	28.36	48.39	68.43	86.45	19.28	28.04	69.28	33.28
a5	27.9	86.48	96.36	91.97	66.15	11.06	23.11	18.06	54.5
a6	81.18	17.09	25.36	23.14	70	58.44	96.72	37.53	50.33
a7	62.49	90.58	94.44	58.28	85.96	35.18	5.3	81.94	90.19
a8	62.39	54.2	90.2	98.82	36.17	57.93	58.96	53.99	93.67
a9	86.3	55.68	42.73	58.71	13.09	47.34	52.63	60.62	2.24
a10	85.97	31.63	49.04	74.32	6.54	98.15	19.54	40.46	41.27

Tabela II.4: Matriz de avaliação do ator DC.

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a1	6.19	49.44	33.38	63.24	35.52	3.61	70.42	50.83	24.95
a2	5.64	3.4	64.35	40.88	30.13	81.31	97.77	95.79	44.79
a3	95.66	87.26	44.22	71.61	62.15	37.85	60.63	77.98	70.07
a4	25.3	33.87	88.97	43.52	4.8	64.92	60.86	5.36	96.07
a5	59.78	5.78	45.46	80.52	21.36	67.4	27.52	59.66	74.54
a6	85.83	66.31	3.45	68.62	32.29	22.5	0.63	29.36	51.63
a7	47.75	32.56	39.89	52.3	48.53	81.11	83.06	74.21	44.09
a8	90.08	31.41	66.2	28.06	45.3	35.86	82.77	29.94	6.53
a9	38.18	42.32	2.67	96.94	25.17	23.64	3.79	3.85	69.46
a10	82.41	23.8	81.99	8.41	46.57	38.68	20.73	40.1	92.35

Tabela II.5: Matriz de avaliação do ator EC.

	AT	RI	NSE	RNC	FE	GU	NFU	C	GR
a1	81.34	8.72	54.5	24.88	23.36	35.02	82.52	40.46	86.66
a2	59.62	29.19	27.21	7.28	88.62	51.22	43.18	75.24	87.18
a3	26.88	88.51	58.45	58.26	18.08	61.78	41.24	76.22	38.53
a4	92.49	64.55	24.83	50.02	89.76	90.75	68.78	20.64	69.91
a5	99.74	23.04	28.5	29.56	0.08	53.95	15.16	5.28	7.37
a6	39.23	19.12	95.49	86.35	51.14	78.8	8.17	70.87	18.44
a7	38.08	55.09	25.39	62.11	97.94	7.57	78.21	90.33	73.69
a8	21.05	4.38	16.57	96.45	59.41	21.44	24.3	30.02	53.18
a9	29.37	87.48	78.71	7.86	99.02	1.1	28.65	29.3	60.67
a10	8.83	81.41	98.59	20.86	56.1	93.48	13.14	43.5	76.65